

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – الجزائر

Faculté : science de l'ingénierat

Département : génie des procédés

Domaine : sciences et techniques

Filière : génie des procédés

Spécialité : génie des procédés de l'environnement

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

## Potabilisation des eaux de barrage : étude du cas de l'unité chaiba

Présenté par : Laslaa Yacine  
Derbali Marwa

Encadreur : Zerdaoui Mostefa  
Université Badji Mokhtar

Grade Professeur

### Jury de Soutenance :

Djerad Souad	Professeur	Badji mokhtar	Présidente
Zerdaoui Mostefa	Professeur	Badji mokhtar	Encadreur
Guilane Sarah	Docteur	Badji mokhtar	Examinateuse

Année Universitaire : 2020/2021

# Dédicace

*Au meilleur des pères*

*Je lui souhaite le rétablissement et une longue vie.*

*A ma très chère maman*

*C'est grâce à son encouragement que je suis là aujourd'hui*

*A mes frère*

*A qui je souhaite un avenir radieux pleins de réussite.*

*A mon binôme*

*C'était un plaisir de travailler avec lui je lui souhaite la réussite dans sa vie professionnelle*

*A mes amis*

*A tous ceux qui me sont chers*

*A tous les étudiants de la promo 2020/2021*

*(marwa)*

# Dédicace

*A ma mère, toujours présente, toujours de bonne humeur, disponible et attentive. Toi Qui m'as toujours soutenu dans les moments critiques auxquels j'ai été confronté. Ce travail est sans doute le résultat de ton encouragement pour continuer mes études. Que Dieu t'accorde longue vie et santé pour que tu sois heureuse et très fière de moi ; A mon père, qui n'a jamais cessé de croire en moi. Toi qui a sacrifié et souffert les plus belles années de ta vie pour me voir un jour réussir. Je prie Allah pour qu'il vous garde et protège*

*A mon frère Tarek et mes sœurs*

*A mon binôme*

*C'était un plaisir de travailler avec elle je lui souhaite la réussite dans sa vie professionnelle*

*Mes amie Mounir, Houssem, Tayeb ,Hamza et Seif*

*Enfin, Je rends grâce à Allah le Tout-Puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la force pour mener ce travail à bout*

***Yacine***

# Remerciement

On remercie dieu le tout puissant qui, par sa grâce nos a permis d'arriver au bout de nos efforts en nous donnant la force, le courage, et la patience pour terminer ce mémoire.

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de «Pr. Zerdaoui Mostefa », on le remercie chaleureusement pour sa patience et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail.

Nous adressons nos remerciements à ceux qui ont contribué au succès de notre stage.

On tient à remercier aussi les nombres de jurys qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

On voudrait exprimer nos remerciements les plus sincères à nos parents pour leurs sacrifices, leurs soutiens, leurs encouragements et surtout leurs prières tout au long de nos études

Enfin, dans l'impossibilité de cité tous les noms on remercie nos amis aimables qui ont toujours été là pour nous par leurs soutien moral et intellectuelle tout au long de nos démarches.

Un spécial merci pour « Tayeb » pour sa présence en moment difficile, par ses précieuses conseils et son soutien inconditionnel, on lui souhaite le succès dans sa vie professionnelle.

## Liste des figures :

Fig. I.1- schéma de cycle de l'eau.....	5
Fig.II.1 - Représentation schématique d'un décanteur à flux horizontale.....	19
Fig.II.2 - Décanteurs à flux horizontale .....	21
Fig.II.3 - Clarificateur à flux vertical rectangulaire avec trémie de fond en forme de pyramide inversé .....	22
Fig.II.4 - représentation schématique d'un décanteur a lit de boue (Pulsator - Suez) .....	22
Fig.II.5 - Représentation schématique d'un décanteur lamellaire (Sédipac D).....	23
Fig.II.6. Matériaux filtrants couramment utilisés.....	24
Fig.II.7- Les composantes d'un filtre lent avec contrôle de débit à l'entrée.....	26
Fig.II.8-schéma du filtre AQUAZUR type V .....	28
Fig.II.9-Effet de pH en présence de chlore dans l'eau .....	30
Fig III.1–Situation géographique de la station Chaiba.....	33
FigIII.2-schéma de distribution (station chaiba).....	35
Fig III.3-Fonctionnement de la station de chaiba.....	36
Fig III.4 – Réservoir de pré-chloration (hypochlorite de sodium) station chaiba.....	36
Fig III.5– Point d'injection du coagulant et de l'aide-coagulant.....	37
Fig III.6 – Décanteur pulsator station chaiba .....	38
Fig III.7 – Filtre aquazur (station chaiba).....	38
Fig.IV.1- Jar –Test .....	42
Fig.IV.2-les doses de sulfate d'alumine en fonction du temps .....	43
Fig.IV.3- les doses d'adjuvant.....	45
Fig.IV.4 Comparateur lavibond .....	48
Fig.IV.5 - l'évolution de la température en fonction du temps .....	50
Fig.IV.6–l'évolution de pH en fonction du temps .....	52
Fig.IV.7–l'évolution de la turbidité en fonction du temps .....	54
Fig.IV. 8- l'évolution de conductivité en fonction du temps .....	57
Fig .IV.9 - pH mètre multifonction .....	58
Fig.IV.10–chlore en fonction du temps.....	59

## **Liste des tableaux :**

Tab. I.1 Tableau récapitulatif de la qualité de diverses eaux douces .....	8
Tab. I.2. Concentration des différents ions d'une eau de mer.....	9
Tab.II.1- Les étapes de l'agrégation .....	14
Tab.IV.1- Norme de potabilité algérienne .....	41
Tab.IV.2 –dose de sulfate d'aluminium .....	42
Tab.IV.3-les doses d'adjuvant.....	45
Tab.IV.4 –température de l'eau.....	49
Tab.IV.5 -norme de potabilité fixé par OMS (1994) .....	50
Tab.IV.6- les domaines de pH.....	51
Tab.IV.7 –pH de l'eau.....	51
Tab.IV.8- les résultats de turbidité .....	53
Tab.IV.9- classification des eaux selon la turbidité .....	54
Tab.IV.10-classification des eaux en fonction de conductivité .....	55
Tab IV.11- les résultats de conductivité.....	55
Tab .IV .12- les résultats du chlore résiduel.....	58

## **Les abréviations**

° Ch: degré chlorométrique

DPD N1 : diethyl paraphenylene diamine (comprimé rapide détecte le chlore dans l'eau)

MES : matières en suspension

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OMS : organisation mondiale de santé

PAC (Poly Aluminium Chloride)

pH : potentiel d'hydrogène

# Résumé

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel. Dans son parcours jusqu'à nos robinets, elle se charge d'éléments à la fois indispensables à notre santé mais peut également rencontrer des substances potentiellement toxiques pour l'organisme. C'est pourquoi l'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être considérée comme potable. Elle doit ainsi répondre à de nombreux critères pour permettre à chacun de boire une eau sans aucun risque pour la santé.

## Table de matière

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	II
Les abréviations.....	III
Résume .....	IV
I- Introduction général.....	2
I- Introduction.....	4
I.1- Définition de l'eau .....	4
I.2-Cycle de l'eau .....	4
I.3- Propriétés de l'eau.....	5
I.3-1Propriétés physiques .....	5
a) La température d'ébullition .....	5
b) La masse volumique.....	6
c) La viscosité.....	6
I.4- Ressources hydriques naturelles .....	6
I.4.1- Eaux souterraines .....	6
I.4.2- Eaux de pluie.....	6
I.4.3- Eaux de surface .....	7
a) Eaux de rivière.....	7
b) Eaux de lac .....	7
c) Eaux de mer .....	9
I.5-Pollution des eaux .....	9
I.5.1- Les micro-organismes ou agents pathogènes.....	10
I.5.2- contaminants organiques, inorganiques et macroscopiques .....	10
a.    Polluants organiques .....	10
b.    Polluants inorganiques .....	11
c .   Polluants macroscopiques.....	11
I.5.3- Pollution thermique.....	11
II.1- Introduction .....	13
II .2-Procédés de traitement des eaux.....	13
II.3- traitement des eaux de surfaces douces.....	13
II.3.1-Microtamisage .....	13
II.3.2- coagulation – flocculation .....	13
II.3.2.1 – Mécanismes .....	14

II.3.2.2-Les coagulants minéraux .....	15
Sels d'aluminium.....	15
a)    Sulfate d'aluminium.....	15
Chlorure d'aluminium .....	16
Aluminate de sodium .....	16
Polymères d'aluminium .....	16
Sels de fer .....	17
Chlorure ferrique .....	17
Floculants (Aide-coagulants) .....	18
II.3.3- Décantation.....	18
II.3.3.1- Types de décantation.....	18
II.3.3.2- Type de décanteur .....	19
II.3.4- Flottation .....	23
II.3.5-Filtration .....	24
II.3.5.1- Types de filtration .....	25
a)    Filtration rapide sur sable.....	25
b)    Filtration lente sur sable.....	25
c)    Les filtres AQUAZUR type V .....	26
•    Description et caractéristiques du filtre AQUAZUR type V .....	27
•    Avantages du filtre AQUAZUR V .....	27
•    loi de Darcy.....	27
II.3.6- Désinfection .....	28
II.3.6.1- Techniques de désinfection .....	29
A) Chlore .....	29
B) Ozone.....	30
III.1- Description et fonctionnement de la station.....	33
III.2- Réseau d'alimentation .....	33
III.3- Description détaillée des ouvrages de la station .....	34
III.4- la situation géographique du barrage de Cheffia : .....	34
III.5- La Destination .....	34
III.6- Les traitements de la station.....	35
III.6.1- Pré-chloration (Pré-désinfection) .....	36
III.6.2- Ajout des réactifs de coagulation et de floculation.....	37

• Sulfate d'aluminium Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .....	37
• Injection de l'aide-coagulation .....	37
III.6.3- Décantation .....	38
III.6.4- Filtration.....	38
III.6.4.1-Colmatage des filtres.....	39
III.6.4.2-Lavage d'un filtre.....	39
III.6.5-Désinfection.....	39
IV .1- Introduction.....	41
IV .2-Matériels et méthodes : .....	41
IV .2.1- Jar-Test .....	41
IV .2.2- Produit pour Jar-Test .....	42
a)Sulfate d' aluminum    Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .....	42
b) Adjuvant.....	44
IV.3- Demande en Chlore .....	46
IV.3.1-Objectif .....	46
IV.3.2-Principe .....	46
IV.3.3-Matériel nécessaire .....	46
IV.4- Les paramètres physico-chimiques.....	48
IV.4.1- La température .....	48
IV.4.2- Le potentiel d'hydrogène (pH) .....	50
IV.4.3-La turbidité.....	53
IV.4.4-La conductivité .....	55
IV.4.5-Le chlore résiduel .....	58
Conclusion .....	59
Conclusion général .....	62
Les références.....	63

# Introduction générale

## Introduction générale

L'eau est l'élément vital pour le bien des êtres vivants, dont l'être humain. Cette perle de vie recouvre près des trois quart de superficie de la terre, mais la fraction douce ne représente que 3%. Cette quantité qui est la source principale d'approvisionnement en eaux de consommation.

L'eau doit répondre aux normes de potabilité. C'est à dire que l'eau d'alimentation ne doit contenir ni de germes pathogènes ni de substances toxiques susceptibles de provoquer de graves contaminations chez le consommateur. Et afin d'utiliser les différentes catégories d'eaux citée dans le chapitre suivant et de les rendre potables on doit faire appel à des traitements .Les traitement à appliquer aux eaux destinées à l'alimentation humaine consiste à transformer une eau brute qu'elle que soit son origine en une eau potable convenable à la consommation, et cela en se débarrassant de toutes les matières en suspension et colloïdales qu'elles contiennent ainsi que de certaines substances dissoutes. Pour ce faire il est généralement nécessaire de combiner plusieurs opérations élémentaires mettant en œuvre des phénomènes physiques, chimiques et biologiques.

L'objectif de notre travail de fin de cycle est : déterminer la qualité de l'eau de la station de Chaiba.

Ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

→ Partie théorique comporte trois grands chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons donné quelque généralités sur les eaux issues de diverses sources .

Dans le second chapitre nous avons cité les différentes filières de traitements physico-chimiques ; ensuite la potabilisation des eaux de surfaces.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté la station de Chaiba on donnant sa description et son fonctionnement.

→ Partie pratique (stage effectué au niveau de la station Chaiba)

Dans ce quatrième chapitre nous avons noté les valeurs de certains paramètres physico-chimiques et regrouper les résultats et donner leurs évolution en fonction du temps ensuite discuter ces résultats obtenus afin de déduire la qualité de l'eau de la station de Chaiba.

# **Chapitre I :**

## Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources

# **Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.**

---

## **I- Introduction**

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel, dès sa précipitation sa qualité change avec la qualité du terrain qu'elle traverse ou le sol où elle s'infiltre, elle se charge ainsi en MES, minéraux et microorganismes, elle devient alors impropre à la consommation humaine et n'est pas conforme aux normes de potabilité. L'organisation mondiale de la santé (OMS) définit une eau potable comme une eau qui ne représente aucun risque significatif pour la santé pendant toute une vie de consommation y compris les différentes sensibilités pouvant survenir entre les étapes de la vie.

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines, des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.

### **I.1- Définition de l'eau**

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. L'eau se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques : c'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre .

L'eau est quelque fois désignée sous le nom de « solvant universel ».

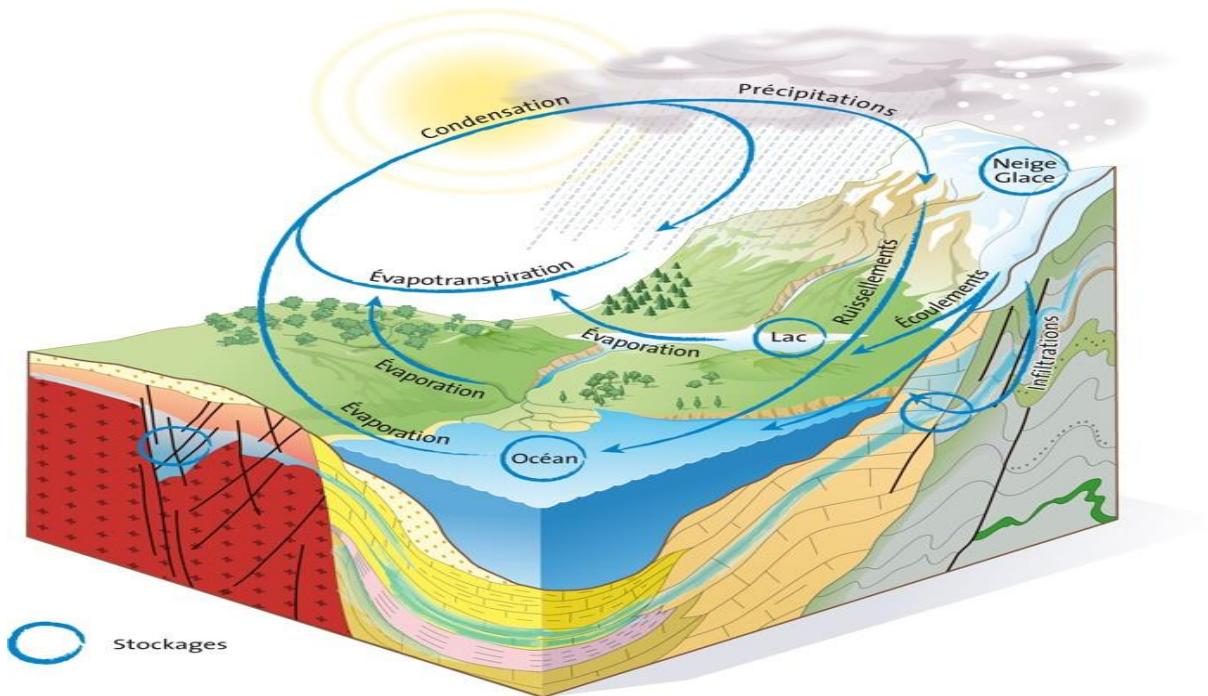
### **I.2-Cycle de l'eau :**

L'évaporation qui s'effectue au dessus des océans, grâce à l'énergie solaire conduit formation de nuage, lesquels, poussés par le vent se résolvent en pluie ou en neige à faveur d'une variation de température, donnant lieu à ce que l'on appelle les précipitations atmosphérique. Sur le continent, l'eau ainsi tombée a des destins divers, une partie s'évapore, une autre ruisselle et une autre s'infiltre dans le sol, elle rejoint les nappes d'eau souterraines puis elle ressort à l'air sous forme des sources.

Ces manifestations se reproduisent suivent des proportions variables ou interviennent la topographie du sol, le climat, la température, etc.... Finalement, toutes les eaux retournent à la mer par un système d'hydrographie de surface ou souterraine plus au moins complexe.

L'étude portera également sur les affluents d'amont qui alimentent la rivière, le barrage ou le lac.

# Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.



**Fig I.1- schéma de cycle de l'eau**

## I.3- Propriétés de l'eau :

L'eau est un catalyseur de nombreuse réaction chimique, et également le principal agent d'érosion et sédimentation et donc un facteur déterminant de la formation des paysages. Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases : liquide (eau proprement dite), solide (glace) et gaz (vapeur d'eau) .Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau-glace, eau-vapeur, glace-vapeur selon les conditions de température et de pression.

### I.3-1 Propriétés physiques

Les caractères polaire de la molécule d'eau sont à l'origine d'association possibles entre les molécules d'eau ; il donnera lieu à bien des anomalies physiques que nous signalons brièvement, telles que :

#### a) La température d'ébullition

Anormalement élevée, si on la compare avec celle des composés de masse moléculaire du même ordre et possédant plusieurs atomes d'hydrogène. Dans les conditions normales elle est de 100°C.

# Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.

---

## b) La masse volumique

Elle varie avec la température et la pression, mais aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de  $1\text{g/cm}^3$ .

## c) La viscosité

Elle diminue lorsque la température croît ; par contre, elle augmente avec la teneur en sels dissous .contrairement aux autres liquides, une pression modérée, rend l'eau moins visqueuse aux basses températures.

## I.4- Ressources hydriques naturelles :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer et les eaux saumâtres

### I.4.1- Eaux souterraines

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- **Nappes phréatiques ou alluviales** : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- **Nappes captives** : plus profondes que les nappes phréatiques et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures [1].

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales [1].

### I.4.2- Eaux de pluie

Se sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine, saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent pas de sels, ni calcium ni magnésium, et donc très douces, ces eaux peuvent être contaminées en régions industrialisées par des poussières atmosphériques. La distribution

## **Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.**

---

des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau [2].

### **I.4.3- Eaux de surface**

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ce type d'eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement [3].

Les eaux de surfaces ou aussi eaux superficielles sont réparties en trois catégories :

#### **a) Eaux de rivière**

L'amont d'une rivière est situé en région montagneuse où l'activité anthropique est faible et les industries pratiquement inexistantes [2]

La partie aval d'une rivière est généralement située en région où la population est dense, ces eaux sont de moins bonne qualité engendrées par les rejets industriels et urbains, le traitement de ces eaux est plus difficile qu'en amont.

#### **b) Eaux de lac**

Les lacs peuvent être considérés comme des bassins naturels de décantation dont la période de rétention est longue, les caractéristiques de ces eaux varient lentement au cours de l'année [2].

# Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.

**Tableau I.1** Tableau récapitulatif de la qualité de diverses eaux douces

Eaux Paramètre	Eaux de surface		Eaux souterraines
	Eaux de rivière	Eaux de lacs	
Turbidité	Modérée à élevée	Faible (peut augmenter brusquement en printemps et automne à cause de variations de température qui provoque le renversement des eaux faute de changement de densité)	Presque nulle
Température	Froide (Due a la fonte des neiges et glaciers) Varie entre 5 et 10°C	Varie selon les saisons	Presque constante toute l'année ( voisine de 12°)
Couleur	Indice de couleur faible à élevée	Elevée	-Faible -Liée aux matières en solution (acides humiques) Ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goût et odeur	Goût et odeur sont souvent fréquents		Rare (Sauf H <sub>2</sub> S)
Dureté	Variable selon la région		Elevée si roche calcaire ou Calco-magnésienne
Salinité	Variable en fonction des terrains, précipitations et rejets		Sensiblement constante (nettement plus élevée que celle des eaux de surface de la même région.)
CO <sub>2</sub> Agressif	Absent		Présent (parfois en grandes quantités)
O <sub>2</sub> dissous	Généralement au voisinage de la saturation (sauf eaux polluées)		Teneur faible ou nulle
Microorganismes et éléments vivants	Bactéries et certaines pathogènes, virus, planctons et poissons		Ferrobactéries et bactéries sulfatoréductrices
Caractère eutrophe	Accentué en cas de température élevée		Non
Micropolluants minéraux et organiques	Selon les rejets (activités minières, agricoles, ou des habitations)		Présents en fonctions des épandages agricoles ou rejets industrielles en surface
Solvants chlorés	Rarement présents		Puissent être présents en cas de pollution de la nappe

## Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.

---

### c) Eaux de mer

L'eau des mers et des océans représentent 96,5% des réserves d'eau qui se trouvent à la surface de la terre. Caractérisées par une salinité importante (30 à 40g/L), et des caractéristiques physico-chimiques très variables : Turbidité, matières en suspension, planctons, sable, température, pH. Source d'approvisionnement en eau brute, les eaux de mer sont caractérisées par une salinité élevée qui peut être éliminée par un procédé de dessalement (Distillation, déminéralisation, électrodialyse, osmose inverse).

**Tableau I.2.** Concentration des différents ions d'une eau de mer

Espèces		Concentration (g/L)	
Cations	Calcium	Ca <sup>2+</sup>	0,40
	Magnésium	Mg <sup>2+</sup>	1,27
	Potassium	K <sup>+</sup>	0,38
	Sodium	Na <sup>+</sup>	10,56
	Strontium		0,013
Anions	Hydrogénocarbonates	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,14
	Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,65
	Chlorures	Cl <sup>-</sup>	18,98
	Fluorures	F <sup>-</sup>	0,013
	Bromures	Br <sup>-</sup>	0,065
	Acide borique	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,0260
Salinité			34,5

### I.5-Pollution des eaux

La pollution de l'eau est la contamination des plans d'eau, généralement du fait des activités humaines. Les plans d'eau comprennent par exemple les lacs, les rivières, les océans, les aquifères et les eaux souterraines. La pollution de l'eau se produit lorsque des contaminants sont introduits dans l'environnement naturel. Par exemple, le rejet d'eaux usées mal traitées dans des plans d'eau naturels peut entraîner la dégradation des écosystèmes aquatiques. À son tour, cela peut entraîner des problèmes de santé publique pour les personnes vivant en aval. Ils peuvent utiliser la même eau de rivière polluée pour boire, se baigner ou irriguer. La pollution de l'eau est la principale cause mondiale de décès et de maladies.

## **Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.**

---

Les contaminants spécifiques menant à la pollution de l'eau comprennent un large éventail de produits chimiques, d'agents pathogènes et de changements physiques tels qu'une température élevée et une coloration. Alors que de nombreux produits chimiques et substances réglementés peuvent être d'origine naturelle, la concentration détermine généralement ce qui est un composant naturel de l'eau et ce qui est un contaminant. Des concentrations élevées de substances naturelles peuvent avoir des effets négatifs sur la flore et la faune aquatiques.

L'altération de la qualité physico-chimique de l'eau comprend l'acidité (changement de pH), la conductivité électrique, la température et l'eutrophisation. En fonction du degré d'eutrophisation, des effets environnementaux négatifs ultérieurs tels que l'anoxie (appauvrissement en oxygène) et de fortes réductions de la qualité de l'eau peuvent se produire, affectant les poissons et d'autres populations animales [4].

### **I.5.1- Les micro-organismes ou agents pathogènes**

Les agents pathogènes peuvent provoquer des maladies d'origine hydrique chez les hôtes humains ou animaux [5].

Des niveaux élevés d'agents pathogènes peuvent résulter de systèmes d'assainissement sur place (fosses septiques, latrines à fosse) ou de décharges d'eaux usées mal traitées. Les villes plus anciennes aux infrastructures vieillissantes peuvent avoir des systèmes de collecte des eaux usées qui fuient (tuyaux, pompes, vannes), ce qui peut provoquer des débordements d'égouts sanitaires. Certaines villes ont également des égouts unitaires, qui peuvent rejeter des eaux usées non traitées pendant les tempêtes de pluie [6].

### **I.5.2- contaminants organiques, inorganiques et macroscopiques**

Les contaminants organiques et inorganiques sont des composés et substances chimiques toxiques [7].

#### **a. Polluants organiques :**

- Détergents
- Déchets de transformation alimentaire, qui peuvent inclure des graisses et des huiles qui demandent beaucoup d'oxygène
- pesticides et herbicides

## **Chapitre I : Généralités sur la qualité des eaux issues de diverses sources.**

---

- hydrocarbures, lubrifiants, des composés organiques volatils, des composés chlorés qui peuvent décanter au fond des réservoirs et des plans d'eau a cause de leurs densité supérieure a celle de l'eau.
- Déchets d'industries pharmaceutiques

### **b. Polluants inorganiques :**

- Rejets industriels acides
- Ammoniaque (Déchets d'industries agroalimentaire)
- Fertilisants (qui contiennent des nutriments tel que phosphates et nitrates qui peuvent se trouver dans les ruissellements des eaux de pluie provenant de l'agriculture.
- Métaux lourds

### **c. Polluants macroscopiques**

Déchets ou ordures (papier, plastiques ou déchets alimentaires) ainsi que les déversements accidentels ou intentionnels de déchets qui sont emmenés par les eaux de pluie vers les égouts puis vers les eaux de surface

### **I.5.3- Pollution thermique**

La pollution thermique est l'augmentation ou la baisse de la température d'une masse d'eau naturelle causée par l'influence humaine. La pollution thermique, contrairement à la pollution chimique, entraîne une modification des propriétés physiques de l'eau. Une cause fréquente de pollution thermique est l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les centrales électriques et les fabricants industriels. Les températures élevées de l'eau diminuent les niveaux d'oxygène, ce qui peut tuer les poissons et modifier la composition de la chaîne alimentaire, réduire la biodiversité des espèces et favoriser l'invasion de nouvelles espèces thermophiles [8,9].

# **Chapitre II:**

Filières de traitement physico-chimiques  
et potabilisation des eaux de surfaces

## **Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces**

---

### **II.1- Introduction**

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents procédés de traitement des eaux destinés à la consommation humaine.

### **II .2-Procédés de traitement des eaux :**

Pour rendre l'eau potable, on lui applique des traitements variés qui obéissent tous au même principe : éliminer les éléments de matière contenus dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes. Tout cela se fait dans une station de traitement d'eau potable.

### **II.3- traitement des eaux de surfaces douces**

#### **II.3.1-Microtamisage**

Une opération destinée à faire passer un liquide contenant des impuretés à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse, durant le passage du liquide certains solides sont arrêtés directement (par les mailles du microtamis) soit indirectement (par les matières solides accumulées sur le microtamis). La grosseur des mailles d'un microtamis est inférieure à 150 µm. Ils peuvent intercepter les planctons, les particules organiques et minérales, par contre les éléments minéraux fins (argiles), les éléments colloïdaux minéraux et organiques, et les substances dissoutes ne sont arrêtés par le microtamis. Le microtamisage n'améliore donc pas la turbidité causée par les fines particules et ne modifie pas la couleur de l'eau [10].

Les microtamis sont utilisés principalement pour :

- a)** traiter les eaux de lac faiblement contaminées, de faible turbidité, et une couleur peu accentuée, dans ce cas il est habituellement suivi d'une filtration et d'une désinfection.
- b)** Réduire les matières en suspension présentes dans l'eau.
- c)** Clarifier les eaux résiduaires industrielles.
- d)** Récolter les algues à la sortie d'un traitement par lagunage.

#### **II.3.2- coagulation – flocculation**

La coagulation-flocculation implique l'addition de composés qui favorisent le regroupement des fines en flocs plus grand afin de les séparer facilement de l'eau.

La coagulation est un procédé chimique qui implique la neutralisation de la charge négative des colloïdes, le processus de coagulation-flocculation peut être utilisé comme étape préliminaire ou intermédiaire entre d'autres procédés de traitement de l'eau et des eaux usées comme la filtration et la sédimentation. Les sels de fer et d'aluminium sont largement utilisés pour effectuer l'étape de coagulation.

La coagulation est affectée par le type de coagulant utilisé, sa dose et sa se, le pH et la turbidité initiale de l'eau et les propriétés des polluants présents, l'efficacité est également affectée par les prétraitements d'oxydation. [11]

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

### II.3.2.1 – Mécanismes

Dans une suspension colloïdale, les particules décantent lentement ou pas du tout à cause de leur charge électrique, elles se repoussent mutuellement. Afin d'induire une coagulation, un coagulant (un sel métallique) de charge opposée est ajouté à l'eau afin de surmonter la charge négative et déstabiliser la suspension. Par exemple un coagulant tel que le sulfate d'alumine est ajouté formant des ions chargés positivement, dès que les charges négatives sont neutralisées, les forces de Van der Waals provoqueront l'adhésion des particules (agglomérat) formant ainsi les microflocs, le **tableau II.1** récapitule le mécanisme de la coagulation.

**Tableau II.1**- Les étapes de l'agrégation

Stade	Phénomènes	Terminologie
AJOUT DU COAGULANT	Réaction avec l'eau, hydrolyse, polymérisation	HYDROLYSE
DESTABILISATION	Compression de la double couche	COAGULATION
	Absorption spécifique d'ions du coagulant à la surface de la particule	
	Liaison spécifique d'ions ou d'espèces à la surface de la particule	
	Inclusion du colloïde dans un précipité d'hydroxyde	
	Liaison inter-particulaire par des espèces polymériques du coagulant	
TRANSPORT	Mouvement brownien	FLOCULATION PERICINETIQUE
	Énergie dissipée (gradient de vitesse)	FLOCULATION ORTHOCINETIQUE

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux. Son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle. Néanmoins, on ne peut négliger son prix et les effets secondaires comme les fuites en  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Al}^{3+}$ .

Les coagulants minéraux par suite de leur hydrolyse modifient les caractéristiques physicochimiques de l'eau à traiter (pH, conductivité)

Le pH est un paramètre primordial pour l'élimination des colloïdes, le pH optimal constitue un compromis entre le pH nécessaire pour la coagulation (lié à la nature des colloïdes) et le pH nécessaire à la flocculation (lié à la croissance du floc d'hydroxyde de fer ou d'aluminium). Il correspond en général au minimum de solubilité de l'hydroxyde considéré (optimisation de la phase flocculation). Ce pH et la solubilité minimale sont fortement influencés par la force ionique et la présence de composés organiques tels que les acides humiques.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

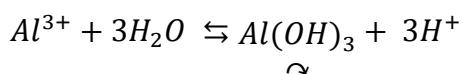
Cation	pH optimal de Coagulation - floculation
$Al^{3+}$	6,0 – 7,4
$Fe^{3+}$	Supérieur à 5

Le pH de coagulation peut être ajusté par ajout d'acide ou de base.

### II.3.2.2-Les coagulants minéraux

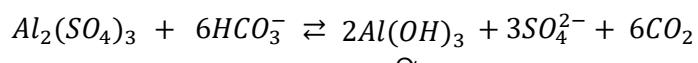
#### A) Sels d'aluminium

Lors de l'ajout de l'ion dans l'eau il se forme un précipité d'hydroxyde d'aluminium avec la libération d'une certaine acidité selon la réaction suivante :



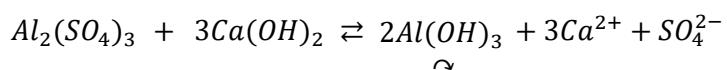
Cette acidité réagit sur certaines espaces en solution notamment les ions hydrogénocarbonates.

##### a) Sulfate d'aluminium (forme liquide ou solide)

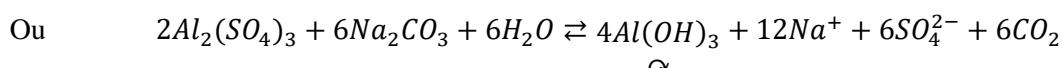
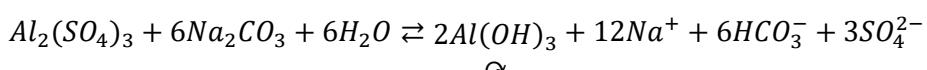


En clarification des eaux de surface, 10 à 150g/m<sup>3</sup> exprimés en produit commercial ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ), et de 50 à 300g/m<sup>3</sup> pour le traitement des eaux résiduaires. Cette quantité dépend la turbidité d'eau.

Pour compenser l'acidité il faut en chaux environ le tiers de sulfate d'aluminium exprimé en produit solide.



Cette acidité peut être compensée par le carbonate de sodium, deux types de réactions peuvent se produire selon la neutralisation des ions carbonates, en hydrogénocarbonates ou en  $CO_2$  libre :

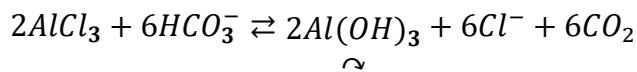


Il faut en carbonate de sodium entre 50 et 100% de la dose de sulfate d'aluminium, on définit cette quantité avec le jar test.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

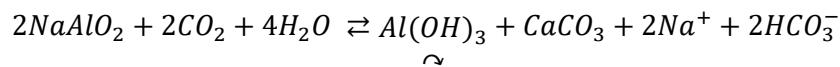
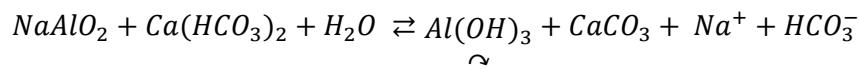
### b) Chlorure d'aluminium



Pour ne pas contaminer l'eau potable par de l'aluminium et pour une bonne coagulation, le pH du processus de coagulation doit être bien maîtrisé, de même que les doses utilisées [12].

### c) Aluminate de sodium

Contrairement au cas précédent l'aluminium est sous forme basique, il peut déplacer les ions hydrogénocarbonates et le  $CO_2$  dissous selon les réactions suivantes :



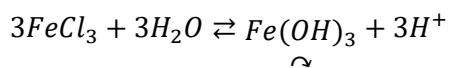
### d) Polymères d'aluminium

L'usage des polymères d'aluminium permet la neutralisation et le pontage des colloïdes qui conduisent à une coagulation plus efficace, l'unité de base serait  $Al_6(OH)_{12}^{6+}$ , cette polymérisation est initiée par une réaction de pontage, la forme générale de ces produits est  $Al_n(OH)_p(Cl)_q(SO_4)_r$ , ces polymères sont moins acides que les sels d'aluminium classiques, leur stabilité est souvent assurée par la présence d'ions sulfates qui inhibent la polymérisation spontanée du produit, leur utilisation conduit souvent à un taux de traitement inférieur à celui de sulfate d'aluminium (exprimé en  $Al^{3+}$ ).

La cohésion de boue est toujours meilleure, mais un adjuvant de flocculation est souvent nécessaire, les produits commerciaux sont en évolution continue, on peut citer : PAC (Poly Aluminium Chloride), Aqualec, Alpoclar (des noms commercial).

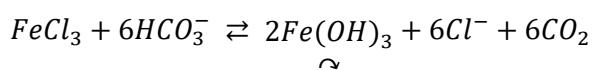
## B) Sels de fer

Le principe de la réaction est le même que pour le sel d'aluminium avec :



### • Chlorure ferrique

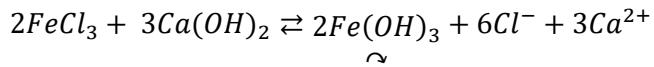
En clarification des eaux de surface, 5 à 150g/m<sup>3</sup> de chlorure commercial solide ( $FeCl_3, 6H_2O$ )



## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

Comme pour les sels d'aluminium, les sels de fer aussi produisent une certaine acidité, cette acidité est compensée avec de la chaux.



Il existe aussi d'autres sels de fer utilisés autrefois tel que le sulfate ferrique et le sulfate ferreux, mais ils sont de moins en moins utilisés.

Les flocs formés ne sont pas assez gros et leur élimination peut être difficile, des adjuvants sont ajoutés pour agglomérer d'avantage les particules en les transformant en flocs facilement séparables.

La floculation est un procédé qui favorise le rassemblement des petites particules (microflocs formés par coagulation) en particules de dimensions plus importantes qui peuvent être éliminées par les procédés de séparation liquide – solide [13].

Smoluchowski (1917) a observé que les petites particules subissent un mouvement brownien aléatoire en raison des collisions avec des molécules fluides et que ces mouvements entraînent des collisions de particules à particules. Langelier (1921) a observé que l'agitation de l'eau contenant des particules crée des gradients de vitesse qui provoquent des collisions de particules. Ces observations fournissent la base pour décrire les mécanismes de floculation [13].

La floculation de petites particules (moins de 0,1 µm de diamètre) est causée par la diffusion. Le taux de floculation est relatif à la vitesse à laquelle les particules diffusent. Ainsi, le mécanisme principal d'agrégation se fait par le mouvement brownien. Cette agrégation est appelée floculation à micro-échelle ou floculation péricinétique. Après quelques secondes, la taille des microflocs varie de 1 à environ 100 µm de diamètre.

L'agitation est le principal mécanisme de floculation pour les particules supérieures à 1 µm de diamètre. Ce mécanisme est connu sous le nom de floculation à l'échelle macroscopique ou floculation orthocinétique. L'agitation mécanique est utilisée pour réaliser la floculation orthocinétique.[13]

### C) Floculants (Aide-coagulants)

Des polymères minéraux (silice activée) et des polymères naturels (amidon, alginate) ont d'abord été utilisés. Mais l'apparition de polymères de synthèse très diversifiés a fait évoluer les performances de floculation.

Les polymères organiques de synthèse sont des macromolécules à longue chaîne obtenues par association de monomères synthétiques, dont certains possèdent des charges électriques ou des groupements ionisables. Ce sont des produits à très haute masse molaire qui ont permis d'atteindre des performances remarquables généralement très supérieures à celles des polymères naturels.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

Leur classification se fait selon l'ionicité du polymère : Anioniques, neutres et cationiques [13]

### II.3.3- Décantation

Un des objectifs de la coagulation-flocculation est d'augmenter la taille des particules en suspension afin que ces dernières décantent dans une période de temps raisonnable. Une fois les particules et précipités sont formés, le moyen le plus courant de les retirer de l'eau est par décantation dans un bassin de sédimentation, également appelé clarificateur ou décanteur [14].

Les processus de séparation des particules d'eau qui intéressent les ingénieurs et les scientifiques de l'eau sont difficiles décrire par une analyse théorique, principalement parce que les particules impliquées ne sont pas de forme, de densité ou de taille régulières. La prise en compte de la théorie des systèmes idéaux est cependant un guide utile pour interpréter le comportement observé dans des cas plus complexes.

#### II.3.3.1- Types de décantation

Les différents régimes de sédimentation des particules sont classés en différents types :

Le terme général décantation est utilisé pour décrire tous les types de particules tombant dans l'eau sous la force de la gravité et des phénomènes de sédimentation dans lesquels les particules ou agrégats sont suspendus uniquement par des forces hydrodynamiques. Lorsque des particules ou des agrégats reposent les uns sur les autres, le terme subsidence s'applique. Les définitions suivantes des régimes sont largement utilisées aux États-Unis et sont compatibles avec une analyse complète de la sédimentation entravée et théorie des flux:

- Type I :** caractérisée par les particules qui se déposent discrètement, à vitesse constante et indépendamment un exemple de ces particules est le sable, généralement ce type de décantation aussi appelé **décantation des particules grenues** est rencontré avant la coagulation en opérations de dessablage et élimination des grosses particules en traitement des eaux potables. Quand les particules décantent discrètement la vitesse peut être calculé et le bassin dimensionné pour éliminer les particules d'une taille spécifique. Pour un régime laminaire Stokes a montré que pour des particules sphériques :[15]

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$

$v_s$  : vitesse de décantation des flocs ( $m/s$ )

$\rho$  : Masse volumique du fluide ( $kg/m^3$ )

$\rho_s$  : Masse volumique de la particule (sphère)

$d$  : Diamètre de la particule ( $m$ )

$\mu$  : viscosité dynamique ( $Pa.s$ )

- Type II : Décantation des particules flocculantes :** en pratique, nous avons surtout affaire à la décantation de particules flocculantes, les particules s'agglomèrent à un

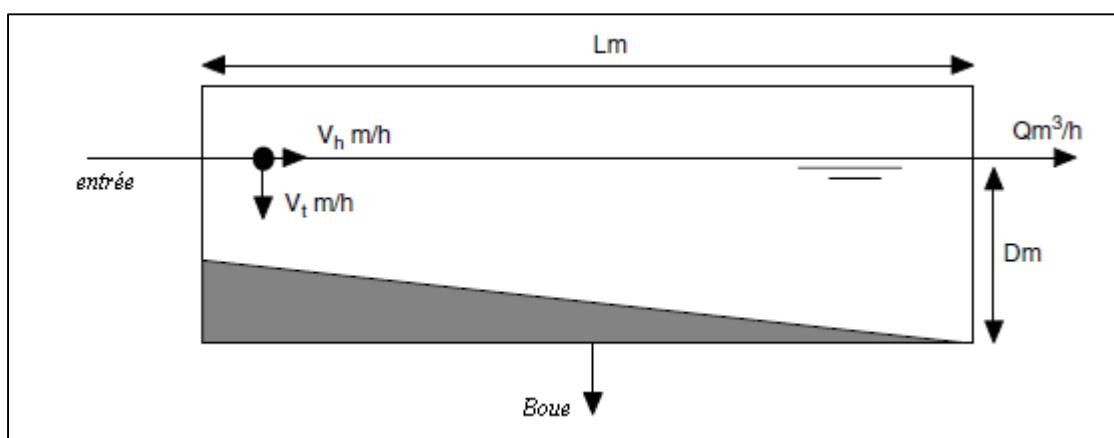
certain rythme. Les particules qui résultent de cette agglomération sont plus au moins grosses et moins dense que les particules initiales, cette modification continue des caractéristiques de la particule rends la conception des modèles mathématiques plus complexe on doit donc dans la plupart des cas se diriger vers les essais de laboratoire (Essai de décantation en colonne) [16].

- c) **Type III : Décantation en piston** : ou décantation de zone dans laquelle la concentration de particules (plus de huit pourcent) provoque des effets interparticulaires, qui peuvent inclure la flocculation, dans la mesure que la vitesse de décantation est fonction de la concentration en solides. Des zones de différentes concentrations peuvent se développer à partir de la ségrégation de particules de vitesses de sédimentation différentes. Il existe deux régimes, la concentration étant inférieure et supérieure à celle du flux maximum, respectivement. Dans ce dernier cas, la concentration a atteint le point que la plupart des particules établissent un contact physique régulier avec les particules adjacentes et former une structure lâche. Au fur et à mesure que la hauteur de cette zone se développe, cette structure tend à former des couches de concentrations différentes, avec les couches inférieures établissant un contact physique permanent, jusqu'à ce qu'un état de compression soit atteint dans la couche inférieure c'est alors une décantation en compression de boue ou type IV.[15]

### II.3.3.2- Type de décanteur

La décantation s'effectue dans des bassins appelés décanteurs, il en existe plusieurs types et géométries, leur dimensionnement est envisagé suivant la qualité et la quantité d'eau à traiter. Ils peuvent se trouver en phase de prétraitement (débourbage/décantation primaire) pour éliminer les matières en suspension naturellement décantables.

Le processus de séparation le plus simple à développer pour la clarification continue des particules présentes dans l'eau est un décanteur horizontal. Considérons un réservoir (**fig.II.1**) de longueur  $L_m$ , de profondeur  $D_m$  et de largeur  $W_m$  qui fonctionne à un débit de  $Q (m^3/h)$ .



**Fig.II.1** - Représentation schématique d'un décanteur à flux horizontale

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

Une particule à l'entrée du réservoir doit tomber au fond du réservoir du même temps qu'il faut pour sortir du réservoir pour être supprimé. Le temps nécessaire pour descendre la profondeur du réservoir est :

$$t = \frac{D}{v_t}$$

Et le temps qu'il faut pour que l'eau traverse la longueur du bassin est :

$$t = \frac{L}{v_h} = \frac{L}{Q(D \times W)}$$

L : longueur (m)

D : profondeur (m)

W : largeur (m)

Q : débit ( $m^3/h$ ).

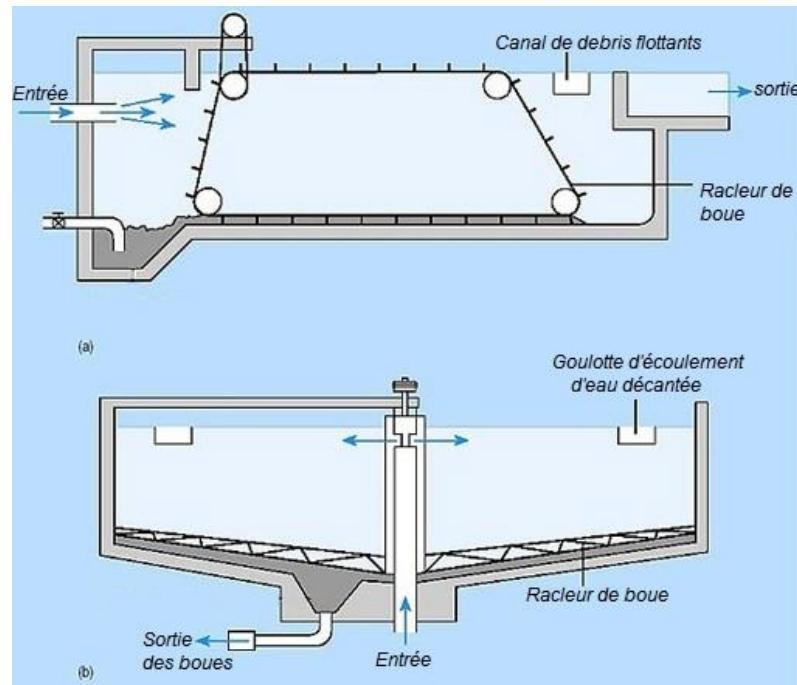
En combinant les deux équations précédentes on obtient :

$$v_t = \frac{Q}{(L \times W)}$$

Où  $L \times W$  est l'aire de la section transversale du réservoir telle que  $Q/(L \times W)$  est la charge superficielle (vitesse de Hazen), elle représente un paramètre clé pour dimensionner le processus de sédimentation. Si la vitesse est inférieure à la charge hydraulique la particule ne sera pas retenue et sera entraînée par le flux, théoriquement la profondeur du décanteur n'est pas importante pour évaluer la performance du processus. En réalité les problèmes liés à la stabilité de l'écoulement et le récurage font que la profondeur joue un rôle important.

**Les clarificateurs à flux horizontale** de configuration rectangulaire ou circulaire (**Fig.II.2**) étaient le processus de clarification standard le plus utilisés dans le monde, ils sont encore utilisés en Amérique du nord.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces



**Fig.II.2** - Décanteurs à flux horizontale – (a) configuration rectangulaire – (b) configuration circulaire

Dans les bassins rectangulaire, la vitesse de débordement est de 1 à 2 m/h pour les eaux coagulées, avec un temps de rétention de 2 à 3 heures, les principaux problèmes de conception concernent la bonne répartition du débit à l'entrée avec un minimum de turbulence pour éviter le cisaillement des flocs. Idéalement, les conditions d'écoulement nécessitent un rapport longueur/Largeur de 20, en pratique les rapports supérieurs à 5 ont tendance à être suffisants. La boue est raclée tout au long du fond du bassin vers une évacuation ou elle est pompée vers l'épaisseur et le traitement des boues. Les clarificateurs circulaires opèrent à partir d'un puits d'alimentation centrale vers des déversoirs de telle sorte que la vitesse diminue progressivement, généralement à fond incliné et un pont racleur pour conduire la boue vers le centre du fond du bassin ou elle sera soutirée. Le profil de vitesse décroissant permet un débordement légèrement plus élevé que les réservoirs rectangulaires et un temps de séjour légèrement plus court [16].

Initialement **les clarificateur à flux vertical** sont des bassins rectangulaires avec une trémie en forme de pyramide inversée (**Fig.III.3**).

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

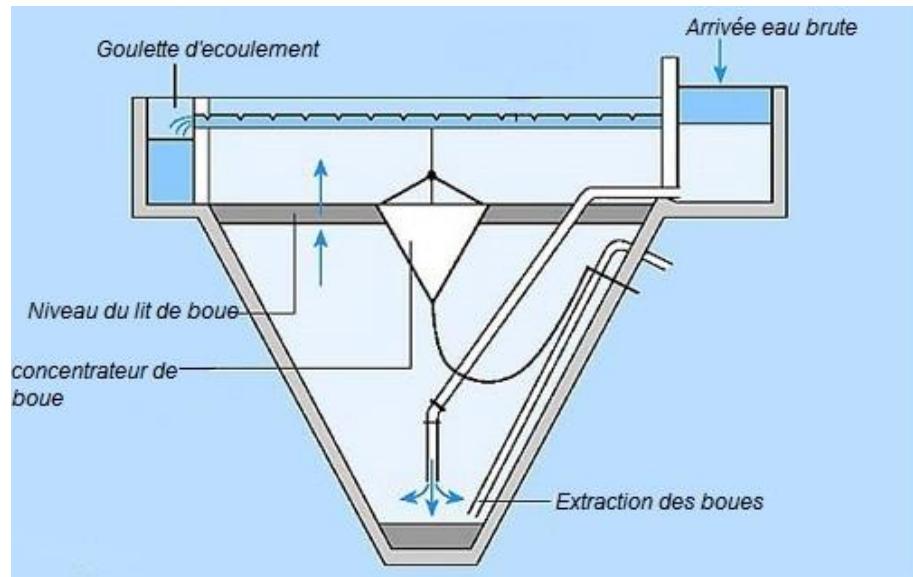


Fig.II.3 - Clarificateur à flux vertical rectangulaire avec trémie de fond en forme de pyramide inversé

Le flux entre dans le bassin par la trémie et coule vers le haut puis dans les goulottes d'écoulement autour du périmètre du bassin. En théorie toute particule avec une vitesse de décantation supérieure à celle du flux vertical va décanter dans la trémie et va être éliminée, en pratique ces décanteurs sont plus efficaces, en raison de la floculation supplémentaire provoquée par la collision interparticulaire conduisant à une meilleure élimination des solides. Il est donc devenu habituel d'utiliser de tel décanteur pour maintenir un lit de solides fluidisé dans le réservoir afin de d'améliorer l'efficacité, ceci a conduit à développer des clarificateurs à flux vertical plus sophistiqués appelés à clarificateur lit de boue mais une appellation plus précise serait clarificateur à contact de boue (Fig.II.4)

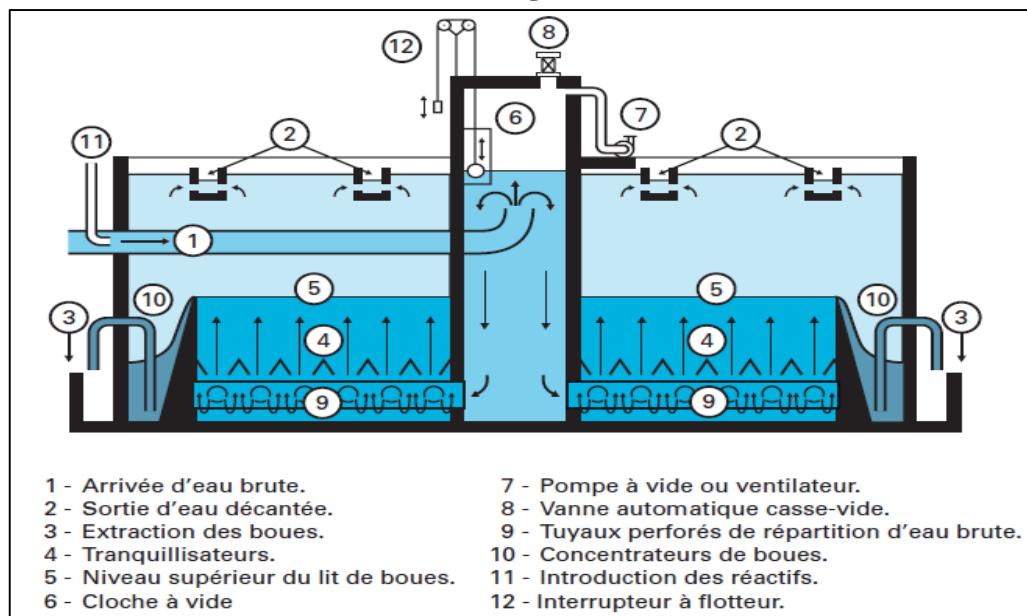


Fig.II.4 - représentation schématique d'un décanteur à lit de boue (Pulsator - Suez)

Le facteur le plus important dans le design de la structure de débordement de l'eau clarifiée est que les particules décantées ne soient pas remis en suspension, la longueur du

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

déversoir doit être suffisante pour que la vitesse de débordement ne soit pas assez élevée pour créer des turbulences et remettre en suspension les particules déposées et cisailler les flocs. Des racleurs de boue sont employés pour éliminer la boue de la surface du fond de l'ouvrage, des racleurs mécaniques sont souvent installés et fonctionnent à une vitesse inférieure à 0.3m/min pour éviter de remettre en suspension les particules. [16].

Les **décanteurs lamellaires** (Fig.II.5) où des plaques parallèles sont installées permettant de multiplier les surfaces de décantation et donc réduire l'espace nécessaire pour la séparation, l'eau s'écoule verticalement à travers les plaques parallèles, les particules sont interceptées par les plaques et glissent sur elles et retombent vers le fond. Dans la pratique les plaques sont inclinées de 50 à 60°, la surface active considérée est la surface projetée, en multipliant la surface de la lamelle par le cosinus de l'angle d'inclinaison. Le taux de débordement par rapport à cette surface projetée est appelé vitesse de Hazen[17].

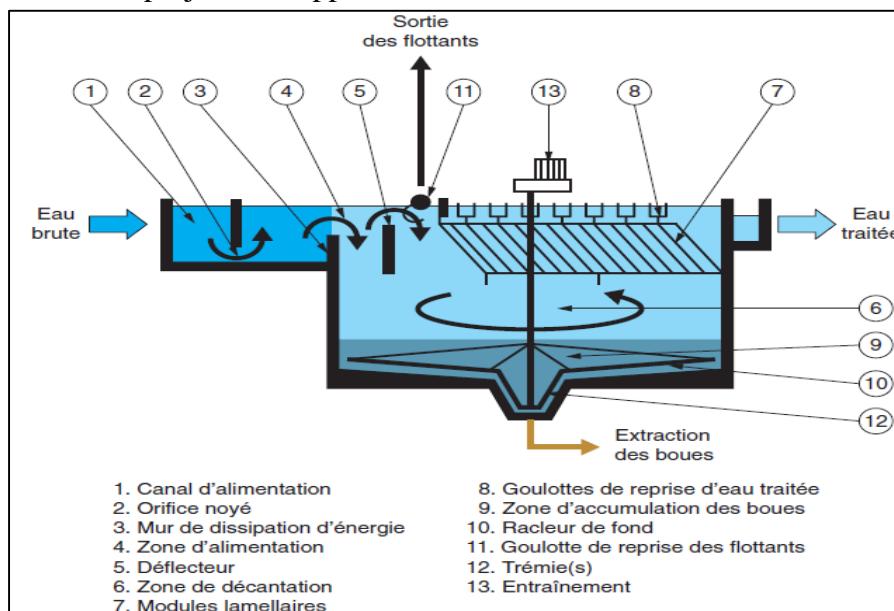


Fig.II.5 - Représentation schématique d'un décanteur lamellaire (Sédipac D)

### II.3.4- Flottation

La flottation est une méthode de séparation des solides en suspension qui s'applique au particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient, les bulles fines d'air comprimé insufflé au bas du bassin s'adhèrent aux particules solides et les font flotter à la surface où elles forment une boue, celle-ci est éliminée grâce au lames racleuses à la surface vers une évacuation[18].

- Flottation naturelle** : la masse volumique des particules est naturellement suffisante pour que la flottation ait lieu parce que la densité des particules est inférieure à celle de l'eau
- Flottation assistée** : elle met en œuvre des moyens extérieurs pour améliorer la séparation de particules naturellement flottables.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

- c) **Flottation provoquée** : lorsque la masse volumique du solide est supérieure à celle du liquide elle est artificiellement réduite. Elle tire parti de l'aptitude qu'ont les particules solides à s'unir à des bulles de gaz (l'air généralement) pour former des attelages moins denses qui flotteront à la surface.

### II.3.5-Filtration

Pendant la décantation, certaines particules sont entraînées par l'eau, ceci influe sur la turbidité et nous amène à procéder à une filtration.

La filtration est une opération unitaire consistant à faire passer un liquide contenant des particules solides et des matières en suspension à travers un milieu poreux (Fig.II.6), habituellement précédée par une coagulation – flocculation et une décantation, elle permet d'éliminer les bactéries, de la couleur, de la turbidité et certains goûts et odeurs [18].

Il existe divers matériaux filtrants selon le type de filtre adopté :

- Des tissus de fibres, des toiles métalliques, ou des pierres poreuses à interstices très fins, ces matériaux retiennent les solides en surface, on les utilise rarement pour traiter des quantités d'eau importantes
- Des granulés libres qui n'adhèrent pas les uns aux autres, ces matériaux sont insolubles et inattaquables par le liquide filtré ou par les solides qui s'y déposent, la filtration a lieu soit en surface soit en profondeur selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant.

Le sable, l'anthracite et l'ilménite sont couramment utilisés dans les usines de traitement des eaux.



**Fig.II.6.** Matériaux filtrants couramment utilisés

### II.3.5.1- Types de filtration

Il existe deux types de filtration utilisée en traitement des eaux de surface

#### a) Filtration rapide sur sable :

La filtration rapide sur sable est la plus utilisée en traitement des eaux, Les filtres à sable rapides sont généralement conçus dans le cadre de systèmes de traitement en plusieurs étapes utilisés par les grandes municipalités. Ces systèmes sont complexes et coûteux à exploiter et à entretenir, et donc moins adaptés aux petites communautés et aux pays en développement. Le système de filtration nécessite une superficie relativement petite par rapport à la population desservie, et la conception est moins sensible aux changements de qualité de l'eau brute, par ex. turbidité, que les filtres à sable lents.

Les filtres à sable rapides utilisent du sable relativement grossier et d'autres médias granulaires pour éliminer les particules et les impuretés qui ont été piégées dans un floc grâce à l'utilisation de produits chimiques de flocculation, généralement de l'alun. L'eau non filtrée s'écoule à travers le média filtrant par gravité ou sous pression de pompage et le floc est emprisonné dans la matrice de sable. Ils doivent être nettoyés fréquemment, souvent plusieurs fois par jour, par contre-lavage, qui consiste à inverser le sens de l'eau et à ajouter de l'air comprimé. Lors du lavage à contre-courant, le lit est fluidisé et il faut veiller à ne pas entraîner le média avec les eaux de lavage [18].

La filtration rapide sur sable a très peu d'effet sur le goût et l'odeur et les impuretés dissoutes de l'eau potable, sauf si du charbon actif est inclus dans le média filtrant.

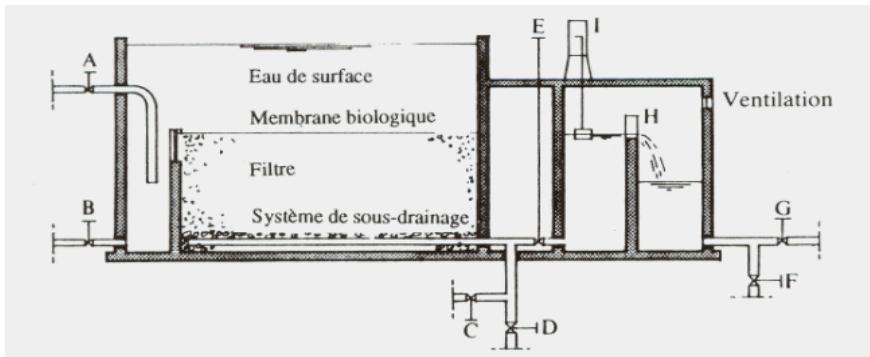
#### b) Filtration lente sur sable :

Fonctionne principalement grâce à une activité biologique qui a lieu à la surface d'un lit de sable (**fig.II.7**) Lors de la conception et du fonctionnement des filtres à sable lents, des précautions supplémentaires doivent être prises afin de maintenir une population biologique active dans le sable. L'écosystème dans un filtre à sable lent comprend des bactéries, des protozoaires tels que les rhizopodes et les ciliés, les rotifères, les copépodes et les vers aquatiques. Une couche biologique se développe à la surface du sable et est connue sous le nom de schmutzdecke (en allemand pour «couche de saleté». C'est un film biologique constituée de bactérie, d'algue et d'autre microorganisme sur la surface du sable) aussi appelée membrane biologique. L'activité biologique est stimulée par l'accumulation de débris organiques et inorganiques et de particules sur cette couche. Une certaine tension se produit dans le schmutzdecke et lorsque l'eau s'infiltre vers le bas à travers le sable, le schmutzdecke décompose une partie de la matière organique.

Une certaine tension se produit dans le schmutzdecke et lorsque l'eau s'infiltre vers le bas à travers le sable, le schmutzdecke décompose une partie de la matière organique. Le schmutzdecke joue donc un rôle majeur dans l'élimination des particules. L'eau pénètre dans la couche supérieure de sable, où les particules inertes en suspension sont physiquement sollicitées et une action biologique se produit, et la fixation des particules sur les surfaces des grains de sable a lieu. Les filtres à sable lents sont le type de filtre granulaire le moins complexe. Ils sont généralement logés dans des structures en béton armé, avec un bassin avec

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

un lit de sable relativement fin placé sur du gravier de support (0,3 à 0,6 m de profondeur) et des canalisations sous le drain jusqu'à 0,9 à 1,5 m de longueur. Le débit de filtration est de 0,08 à 0,4 m / h. Dans le mode de fonctionnement habituel, l'eau d'affluent est introduite au-dessus du lit filtrant de manière à ne pas perturber le sable [19].



- A. Vanne d'amenée d'eau non-filtrée et de contrôle de débit
- B. Vanne de vidange pour évacuation de l'eau surnageante
- C. Vanne pour recharger le lit filtrant en eau propre
- D. Vanne de vidange pour drainer le lit filtrant et la chambre de sortie
- E. Vanne de chasse pour vider le réservoir d'eau traitée
- F. Vanne de sortie vers le réservoir principal du réseau de distribution
- G. Déversoir
- H. Mesure de débit

**Fig.II.7- Les composantes d'un filtre lent avec contrôle de débit à l'entrée [20]**

### c) Les filtres AQUAZUR type V

La caractéristique commune à tous les filtres AQUAZUR réside dans la mise en œuvre d'une couche filtrante unique de sable homogène, qui reste homogène après son lavage par retour simultané d'air et d'eau, sans mise en expansion du lit filtrant. Actuellement, les filtres AQUAZUR à faible hauteur d'eau et de sable, en opération à travers le monde, ont consacré la parfaite adaptation de leur conception aux vitesses de filtration généralement comprises entre 5 et 8m /h voire 10m/h .Issus de la même technique, le filtre AQUAZUR type V est le type même du filtre ouvert adapté aux grandes vitesses de filtration, de 7 à 30m/h, pour le traitement des eaux potables, industrielles ou résiduaires. Sa conception nouvelle répond aux trois impératifs fondamentaux d'un filtre à grande vitesse :

- Production d'une eau filtrée d'une haute qualité tout au long du cycle de filtration.
- Durée de fonctionnement maximale conduisant à des frais d'exploitation les plus bas et à un minimum d'intervention pour le lavage.
- Lavage basé sur l'utilisation de trois fluides, L'air surpressé, l'eau filtrée et l'eau à filtrer, assurant le maximum d'efficacité pour une perte d'eau et une consommation électrique minimale.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

### • Description et caractéristiques du filtre AQUAZUR type V :

L'eau à filtrer est amenée à la batterie filtrante (ensemble de filtres) par un canal général, dont la liaison avec chaque filtre est essentiellement fonction du mode de régulation retenue. Avec une régulation du débit filtré, en fonction du niveau de l'eau sur le filtre, l'eau est équirépartie entre l'ensemble des filtres en service par un ensemble orifice-déversoirs qui assure une très bonne précision d'équirépartition. Taille effective généralement comprise entre 0,95 et 1,35 mm, avec possibilité d'extension entre 0,7 et 2mm, La hauteur du sable est variable entre 0.95 mètre et 1.50 mètre.

### • Avantages du filtre AQUAZUR V

Le filtre AQUAZUR V est donc un filtre spécifiquement adapté à la pratique de grandes vitesses de filtration, à tous les modes de régulations et d'automatisme de commandes désirée. Sa simplicité d'exploitation et l'efficacité de son lavage sont les meilleurs garants de la constance de la qualité de l'eau filtrée qu'il délivre.

#### loi de Darcy

La loi de Darcy régissant l'écoulement stationnaire d'un fluide incompressible de viscosité  $\mu$  exprimée en Pascal seconde (Pa.s) à travers un milieu poreux de perméabilité  $K$  est :

$$U = \frac{\text{perméabilité}}{\mu \cdot L} \Delta P$$

Ou  $U$  est la vitesse d'écoulement et  $\Delta P$  est la perte de charge.

Nous exprimons donc la perte de charge à travers l'ensemble (support filtrant + gâteau accumulé) qui est assimilé à un lit de particules, par l'expression suivante :

$$\Delta P = \frac{(E_s + E_g)\mu}{\text{perméabilité}} \cdot U$$

**E<sub>s</sub>** : support filtrant

**E<sub>g</sub>** : gâteau accumulé

La vitesse du fluide étant le rapport du débit volumique du filtrat sur la section totale du support filtrant  $S$  à traverser .Le débit volumique du filtrat étant le rapport  $dv/dt$

Où  $V$  est le volume du filtrat obtenu. D'où la relation suivante :

$$Q_f = S \cdot U$$

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

Avec :

$S$  : section de support filtrant en  $m^2$ .

$U$  : vitesse d'écoulements de fluide en  $m/s$ .

$Q_f$  : représente le débit volumique du filtrat exprimé en  $m^3/s$ .

L'expression obtenue par la loi de Darcy devient alors :

$$\Delta P = \frac{(E_s + E_g)\mu}{\text{permeabilité}.S} \cdot Q_f$$

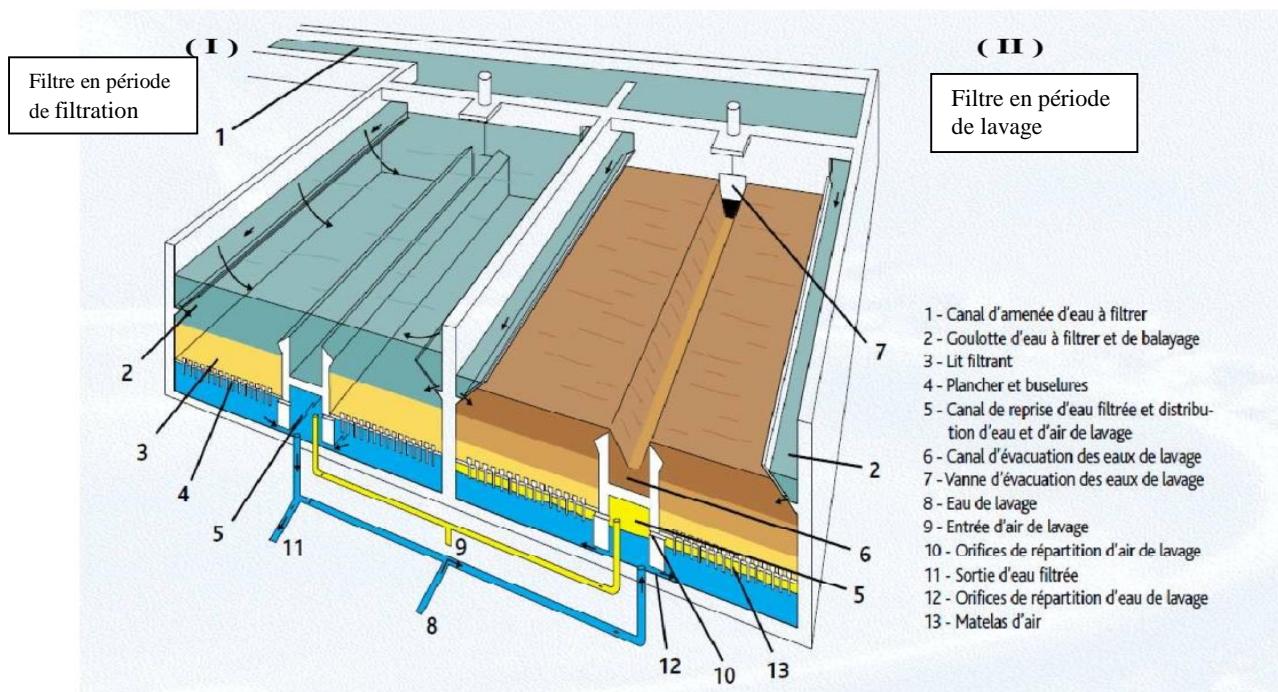


Fig.II.8-schéma du filtre AQUAZUR type V

### II.3.6- Désinfection

L'élimination des organismes pathogènes est effectuée par des processus impliquant l'addition de produits chimiques coagulants suivie par la sédimentation et la filtration et par d'autres procédés de filtration tels que la filtration sur membrane et sur lit de charbon activé.

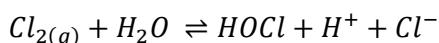
Contrairement à l'élimination, le concept d'inactivation d'agents pathogènes dans l'eau est lié à l'effet que l'application d'un désinfectant a pour effet de détruire la structure cellulaire des micro-organismes ou de perturber son métabolisme, sa biosynthèse ou sa capacité de croissance / reproduction. [21]

### II.3.6.1- Techniques de désinfection

#### A) Chlore :

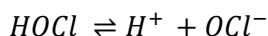
Le «chlore» est un terme générique pour les espèces chimiques actives - l'acide hypochloreux qui agit comme un désinfectant. Il est formé de plusieurs produits chimiques (chlore élémentaire, hypochlorite de sodium et de calcium) lorsqu'ils sont dosé à l'eau. La «chloration» est le terme générique pour la désinfection utilisant ces produits chimiques.

Quand le chlore est ajouté à l'eau, un mélange d'acide hypochloreux et d'acide chlorhydrique est formé [21]:

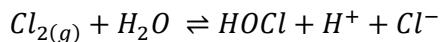


Cette réaction est dépendante du pH et elle est pratiquement terminée en quelques millisecondes, cette dépendance peut être résumée comme suit

- a) En solution diluée et à des niveaux de pH supérieurs à 1, l'équilibre est déplacé vers la droite et très peu de  $Cl_2$  existe en solution.
- b) L'acide hypochloreux est un acide faible et se dissocie mal à des niveaux de pH inférieurs à environ 6. Entre pH 6,0 et 8,5,  $HOCl$  se dissocie de façon rapide et presque complète :



- c) Le chlore existe principalement sous forme de  $HOCl$  à des pH compris entre 4,0 et 6,0.
- d) En dessous de pH 1,0, en fonction de la concentration de chlorure, le  $HOCl$  revient à  $Cl_2$  comme montré dans l'équation :



- e) À 20°C, au-dessus d'environ pH 7,5, et à 0°C, au-dessus d'environ pH 7,8, ions hypochlorite prédominent.
- f) Les ions hypochlorite existent presque exclusivement à des niveaux de pH autour de 9 et plus.

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

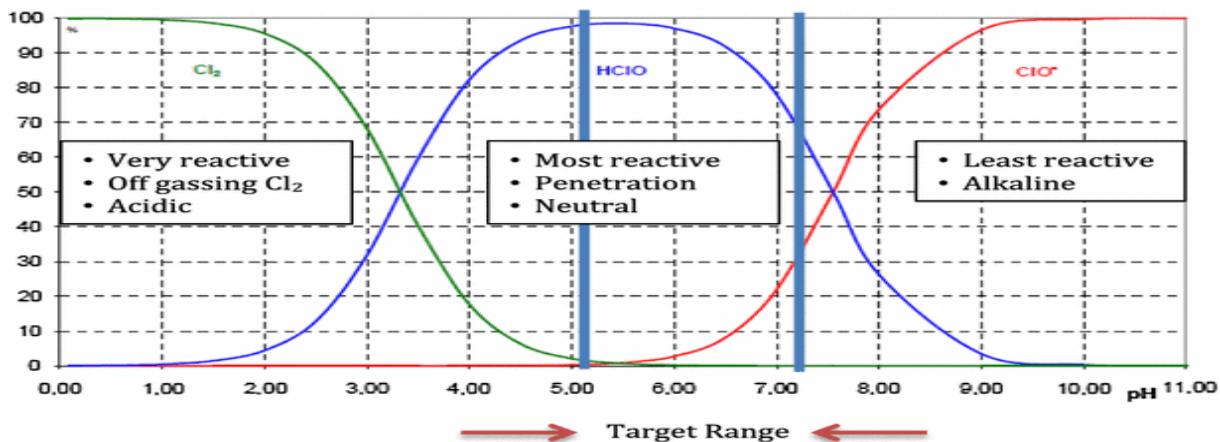
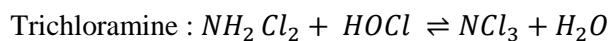
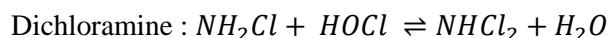


Fig.II.9-Effet de pH en présence de chlore dans l'eau

Il est parfois possible d'ajouter de l'ammoniaque en présence de chlore, les chloramines seront formés lorsque le chlore et l'ammoniaque sont dosés et réagissent sous des conditions contrôlées, un bon contrôle du processus est essentiel pour prévenir la formation des gouts et odeurs provoqués par des sous produits.

Quand le chlore est ajouté à une eau contenant de l'ammoniaque naturellement présente ou ajouté, l'ammoniaque réagit avec l'acide hypochloreux pour former de divers chloramines :



### B) Ozone :

L'ozone est un oxydant puissant qui peut être utilisé dans la potabilisation des eaux de surface ou souterraines ainsi que dans le traitement des eaux usées pour éliminer les micro-organismes, les ions inorganiques et les polluants organiques. La plus ancienne utilisation de l'ozone est comme biocide dans la potabilisation de l'eau potable. L'exposition intégrale à l'ozone requise pour un degré donné de désinfection peut être calculée à partir de la constante cinétique de désactivation du micro-organisme. L'ozone élimine le fer, le manganèse et l'arsenic de l'eau par oxydation en une forme insoluble qui est ensuite séparée par filtration. Les deux processus nécessitent de l'ozone sous forme moléculaire, mais l'élimination des polluants organiques réfractaires à d'autres traitements ne peut être possible qu'en exploitant les réactions radicalaires indirectes qui ont lieu lors de l'ozonation. L'ozone se décompose dans l'eau, en particulier en présence de peroxyde d'hydrogène, pour donner le radical hydroxyle, l'oxydant le plus puissant disponible dans le traitement de l'eau. Des modèles pour le processus d'ozonation sont nécessaires pour ajuster le dosage d'ozone au degré souhaité d'élimination d'un polluant donné ou à une mesure globale de la pollution. La minéralisation, définie comme l'élimination du carbone organique, a été réalisée dans les eaux usées des stations d'épuration urbaines et domestiques [21]

## Chapitre II : Filières de traitement physico-chimique et potabilisation des eaux de surfaces

---

### Exemple d'ozonation :

Oxydation des sulfures :



L'ozone oxyde les sulfures en sulfates. La vitesse de réaction dépend lorsque le degré de protonation augmente. [22]

# **Chapitre III :**

## Description et fonctionnement de la station

### III.1- Description et fonctionnement de la station

La station de traitement et de production d'eau potable Chaiba se situe à Chaiba dans la commune de Sidi Amar – Daira d'El Hadjar – Wilaya d'Annaba. Elle a été construite par Degremont et la société «Bounner /Socea conduite». Elle alimente les communes : Sidi Ammar, El Hadjar, El Bouni et Annaba. La station en elle-même est alimentée par les deux barrages qui se situent à la wilaya d'El Tarf(Barrage Mexa et Barrage Chafia).



**Fig III.1**—Situation géographique de la station Chaiba.

### III.2- Réseau d'alimentation :

Après traitement l'eau est stockée dans un réservoir appelé réservoir de l'eau traitée de capacité «  $1000 \text{ m}^3$  » qui alimente les communes : Sidi Ammar, El Hadjar, El Bouni et Annaba (exemple : oued Ziad, Khraza etc.)

Le réservoir de capacité de «  $5000 \text{ m}^3$  » qui est alimenté par l'eau traitée de la station de traitement « Mexa » et par les forages H' nichet (Boutheldja), les salines et Pont Bouchet (station de pompage).

Cette eau subit une chloration afin d'obtenir un taux de chlore résiduel de l'ordre de  $1 \text{ mg/l}$

## Chapitre III : Description et fonctionnement de la station

---

Ce réservoir d'eau traitée alimente les communes : El Bouni, Annaba (exemple : Safsaf, la plaine ouest, Zaafrania, etc...) et séraidi.

### III.3- Description détaillée des ouvrages de la station :

La station de chaiba contient trois réservoirs : le premier de capacité de stockage de  $5000\ m^3$  qui est alimenté par l'eau traitée de la station de traitement « Mexa », le deuxième de brise charge de capacité de  $3600\ m^3$  ( eau brute à l'entrée de la station ) et le troisième d'eau traitée de capacité de  $1000\ m^3$ .

Dans la station il y a aussi un ensemble monobloc en béton composé de :

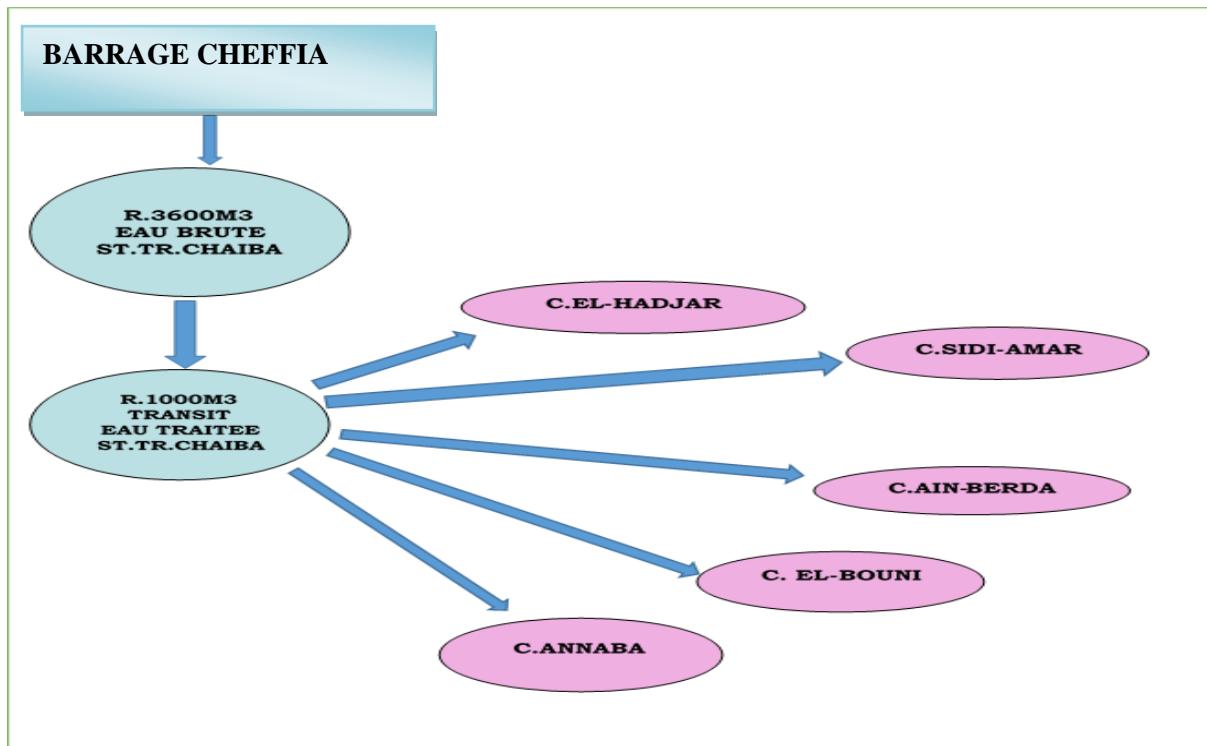
- 02 Bacs d'homogénéisation.
- 04 Décanteurs, types PULSATOR.
- 12 Filtres à sable

### III.4- la situation géographique du barrage de Cheffia :

Le barrage Cheffia sur l'Oued Bounamoussa est situé à 50 Km au sud-est à l'amont de la ville d'Annaba et 42 Km au sud-est El Tarf sur la commune de Cheffia et Daïra de Boutheldja. L'ouvrage a été réalisé entre Octobre 1960 et Octobre 1964. sa mise en eau était du mois de février 1965 jusqu'à 1969.

### III.5- La Destination :

- Alimentation en eau potable de la ville d'Annaba et Daira de bouhadjar.
- Alimentation en eau industrielle de la Sidérurgie d'EL –HADJAR.
- Irrigation du périmètre de Bounamoussa sur 17.000 ha



**FigIII.2-schéma de distribution (station chaiba)**

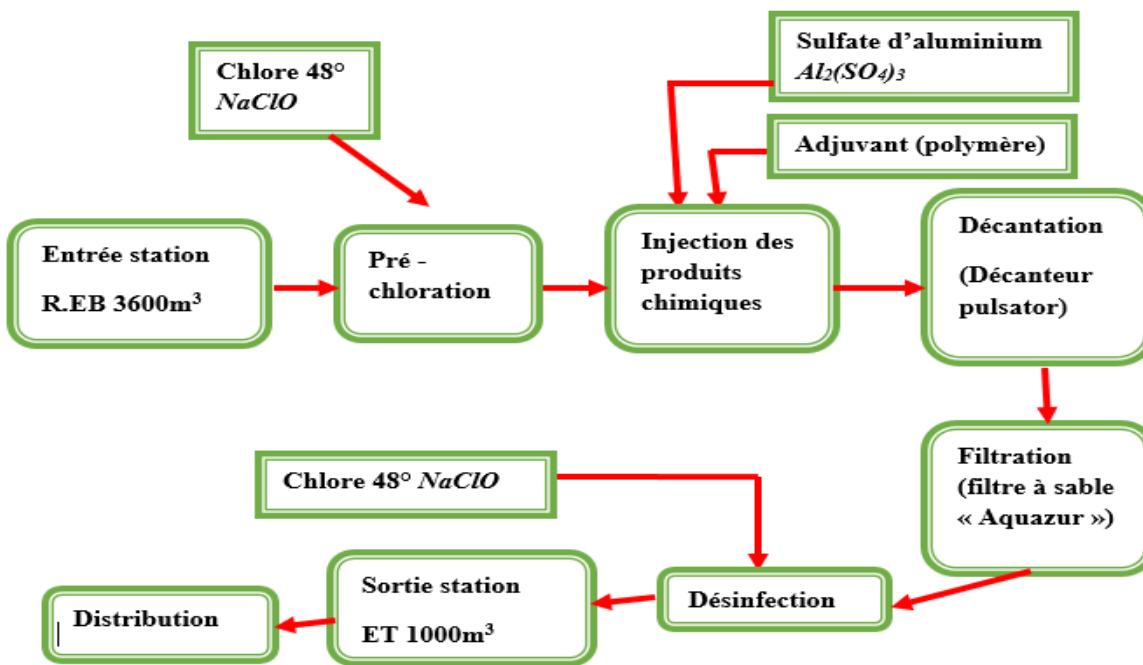
#### III.6- Les traitements de la station :

La station de Chaiba suit un traitement conventionnel classique qui se compose de :

- 1) Pré-chloration (Pré-désinfection)
- 2) Coagulation – floculation
- 3) Décantation
- 4) Filtration sur sable
- 5) Désinfection

L'eau brute dont la station de production et de traitement de l'eau potable provient du barrage de Cheffia qui se situe à 52 km, cette eau est parfois mélangée avec une eau de forage provenant de la commune d'Echatt – Wilaya d'El Tarf, Avant son traitement l'eau est stockée dans un réservoir de  $3600\text{ m}^3$ , elle produit  $1000\text{l/s}$  d'eau potable, celle-ci est ensuite stockée dans un réservoir couvert de  $1000\text{ m}^3$ .

Avant sa distribution l'eau brute subit les étapes de traitement suivant :



**Fig III.3-Fonctionnement de la station de chaiba.**

### III.6.1- Pré-chloration (Pré-désinfection)

La pré-chloration s'effectue à l'hypochlorite de sodium à 48°( $NaClO$ ), cette solution est fournis à la station est injectée telle quelle sans dilution, la dose requise est déterminée au niveau du laboratoire d'analyse physico-chimiques de la station de Chaiba (demande en chlore).



**Fig III.4 – Réservoir de pré-chloration (hypochlorite de sodium) station chaiba.**

### III.6.2- Ajout des réactifs de coagulation et de flocculation

L'addition de coagulants favorise le regroupement des MES présentes dans l'eau afin de faciliter leur élimination par les processus de séparation solide-liquide (Décantation, flottation, filtration...).

- **Sulfate d'aluminium  $Al_2 (SO_4)_3$** : la solution est préparée dans le bloc des réactifs au niveau de la station à 200g/L dans un bac de 10 m<sup>3</sup>, trois bacs sont présents, l'un est en service et les autres en standby (ou en phase de préparation de la solution), le réactif est pompé vers l'entrée d'eau brute grâce à une pompe doseuse, la dose injectée est déterminée quotidiennement par un jar test (Une simulation du processus de coagulation-flocculation qui aide l'opérateur à déterminer la quantité des réactifs à injecter) effectué dans le laboratoire de l'établissement.
- **Injection de l'aide-coagulation** : Elle s'effectue dans le même point d'injection que le coagulant, c'est un poly-électrolyte, la solution préparée à partir d'un produit commercial solide (solution à 10 g/L) la dose injectée est aussi déterminée par un jar test.



**Fig. III.5–** Point d'injection du coagulant et de l'aide-coagulant

Ces adjuvants sont homogénéisés avec l'eau brute dans une chambre de mélange munie d'une hélice qui fait 200 tr/min.

*La valeur de la vitesse des agitateurs est visible sur l'indicateur des variateurs et est accessible au niveau de la salle de contrôle.*

### III.6.3- Décantation

Les décanteurs sont au nombre de quatre de surface unitaire  $333m^2$ (18.30 m x 18.20 m) et de hauteurs d'eau 4.00 m. Il est réalisé avec cuve, canal de répartition d'eau brute et concentrateurs de boues en béton armé. Ce sont des décanteurs à contact de boue (PULSATOR).



**Fig III.6 – Décanteur pulsator station chaiba .**

### III.6.4- Filtration

Les filtres sont au nombre de 12, l'eau clarifiée passe à travers un lit de sable de granulométrie adaptée( entre 0.8 à 1.2 mm) permettant d'obtenir une eau filtrée répondant aux critères de potabilité avant désinfection, un manomètre à contact est installé sur le trou d'homme, permet de mesurer la pression à la sortie du filtre, en cas de colmatage, la pression va baisser dans le cas où elle atteint une valeur prédéterminée, une alarme génère une demande de lavage.



**Fig III.7 – Filtre aquazur (station chaiba)**

### III.6.4.1-Colmatage des filtres :

Le colmatage des filtres est contrôlé par la mesure de la perte de charge entre l'entrée et la sortie : lecture d'un manomètre.

Au fur et à mesure du traitement, le sable retient les MES et s'encrasse, lorsque cet encrassement atteint une certaine limite, il convient alors de laver le sable à contre-courant d'air et d'eau, afin de décoller les impuretés et les envoyer à l'égout.

### III.6.4.2-Lavage d'un filtre :

Pour laver un filtre, fermer la vanne de sortie de l'eau filtrée, et passé ensuite par les opérations suivantes :

- **Décolmatage :**

C'est mettre en route le groupe électropompe de décolmatage. Ensuite ouvrir la vanne d'entrée d'eau de lavage sur le filtre et laisser environ 10 à 50 secondes.

- **Soufflage :**

C'est mettre en route le groupe électro-surpresseur d'air de lavage , puis ouvrir la vanne d'entrée d'eau de lavage sur le filtre et laisser environ 10 min , ensuite fermer la vanne d'entrée d'air de lavage et arrêter le groupe électro-surpresseur de lavage ,enfin ouvrir la vanne d'évacuation de matelas d'air

- **Rinçage :**

C'est mettre en route les groupes électro pompe de rinçage lorsque l'eau évacuée à l'égout est propre ,puis arrêter les groupes électropompes décolmatage et rinçage ensuite fermer la vanne d'entrée d'eau de lavage sur le filtre , et enfin fermer la vanne d'évacuation du matelas d'air pour remettre le filtre en service et ouvrir la vanne de sortie d'eau filtrée .

### III.6.5-Désinfection

C'est la dernière étape du traitement, elle se fait à l'hypochlorite de sodium  $NaClO$  (48°Ch), l'injection se fait à la sortie de l'eau filtrée, la dose est déterminée au laboratoire (demande en chlore).

La désinfection et la pré-désinfection sont effectuées à l'hypochlorite de sodium  $NaClO$  ou l'hypochlorite de calcium.

# **Chapitre IV :**

## **Résultats et discussion**

## IV .1- INTRODUCTION

Dans le but de qualifier la qualité de l'eau brute alimentant la station du traitement des eaux chaiba nous avons pris le mois de mars 2021 comme période d'étude afin d'interpréter les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau et faire une comparaison avec les normes des eaux de surface.

Ces normes ne sont pas définitives et elles diffèrent d'un pays à un autre. Elles représentent les concentrations maximales acceptables qui visent à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque sur leur santé [22].

**Tab.IV.1- Norme de potabilité algérienne**

Paramètre	Norme
pH	6.5-8.5
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	3125
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	-
Turbidité (NTU)	5

## IV .2-Matériels et méthodes :

### IV .2.1- Jar-Test

Le Jar-Test est généralement constitué d'un agitateur à hélices multipostes (4 ou 6 postes), muni d'un variateur de vitesse et d'un compte-tours.

À chaque poste est disposé un bécher d'un volume d'un litre. Chaque bécher est rempli du même volume d'eau.

#### Objet

Détermination en laboratoire des taux de traitement à appliquer à une eau brute pour obtenir le meilleur fonctionnement de la station de traitement

La figure ci-dessous représente le Jar-Test



**Fig.IV.1- Jar –Test**

#### IV .2.2- Produit pour Jar-Test

##### a)Sulfate d' aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Solution mère à 100 g/l

25 g de Sulfate d'aluminium -----» 250 ml Eau distillée

25 ml de la Solution mère -----» 250 ml Eau distillée

1 ml de la solution fille correspond à 10 g/l de Sulfate d'alumine.

##### Remarque

Cette solution doit être préparée immédiatement avant l'essai de Floculation.

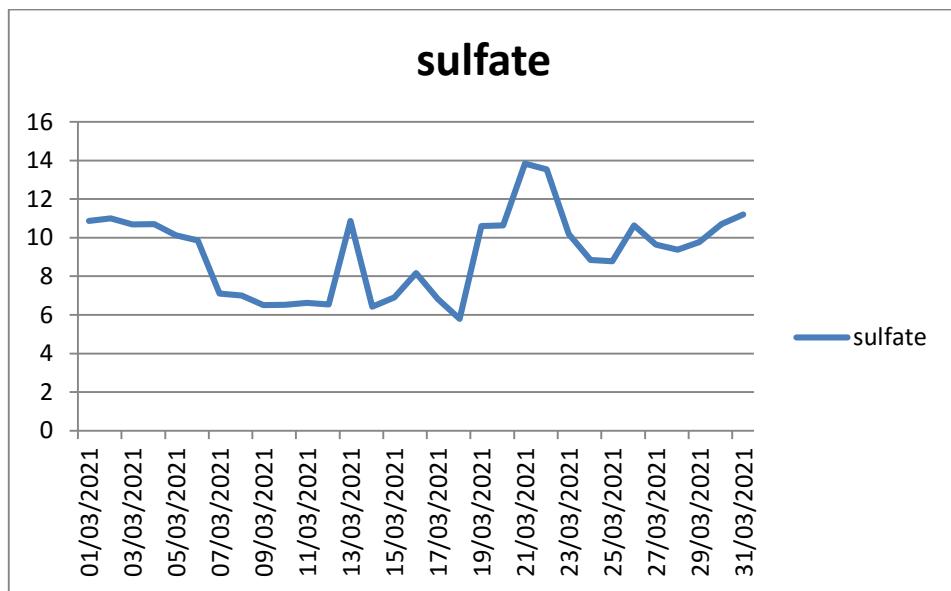
Les doses de sulfate d'alumine sont présentées dans le tableau IV.2 :

**Tab.IV.2 –dose de sulfate d'aluminium**

Jour	Dose de sulfate d'aluminium g/l	Jour	Dose de sulfate d'aluminium g/l
01/03/2021	10,87	17/03/2021	6,82
02/03/2021	11,00	18/03/2021	5,80
03/03/2021	10,68	19/03/2021	10,61
04/03/2021	10,70	20/03/2021	10,63
05/03/2021	10,12	21/03/2021	13,83

06/03/2021	9,85	22/03/2021	13,53
07/03/2021	7,10	23/03/2021	10,18
08/03/2021	7,00	24/03/2021	8,84
09/03/2021	6,50	25/03/2021	8,77
10/03/2021	6,53	26/03/2021	10,64
11/03/2021	6,63	27/03/2021	9,64
12/03/2021	6,54	28/03/2021	9,38
13/03/2021	10,87	29/03/2021	9,77
14/03/2021	6,43	30/03/2021	10,7
15/03/2021	6,90	31/03/2021	11,2
16/03/2021	8,16		

La figure IV.2 présente les doses de sulfate en fonction du temps



**Fig.IV.2**-les doses de sulfate d'alumine en fonction du temps

- **Interprétation**

Le choix de la dose optimal du Sulfate d'alumine sera porté sur les valeurs acceptables de la Turbidité et du pH des eaux siphonnées.

## b) Adjuvant

Solution mère à 5 g/l

1.25 g d'Adjuvant -----> 250 ml Eau distillée

5 ml de la Solution mère -----> 250 ml Eau distillée

1 ml de la solution fille correspond à 0.1 g/l d'Adjuvant.

Cette solution est stable pendant 8jours.

Détermination de la dose de Sulfate d'alumine (Coagulant)

### Mode opératoire

- Prélever de l'Eau Brute dans un seau de 20 litres.
- Bien agiter cette eau et remplir 06 Béchers de 1000ml.
- Prendre la solution fille de Sulfate d'alumine 10g/l et à l'aide d'une pipette graduée de 10ml introduire des quantités croissantes de cette solution dans les 06 bêchers :
- Placer les Béchers sur le FLOCULATEUR et descendre les hélices d'agitation au fond des Béchers.
- 3 minutes d'agitation rapide à environ 150 tr/min (coagulation)
- 17 minutes d'agitation lente (40 à 60 tr/min) (floculation).
- Laisser décanter pendant 30 minutes

Après que les 30 minutes seront écoulées, prélever (siphonner) les quantités nécessaires de chaque bêcher et mesurer la turbidité, pH, conductivité et température.

### Détermination de la dose d'Adjuvant (Floculant)

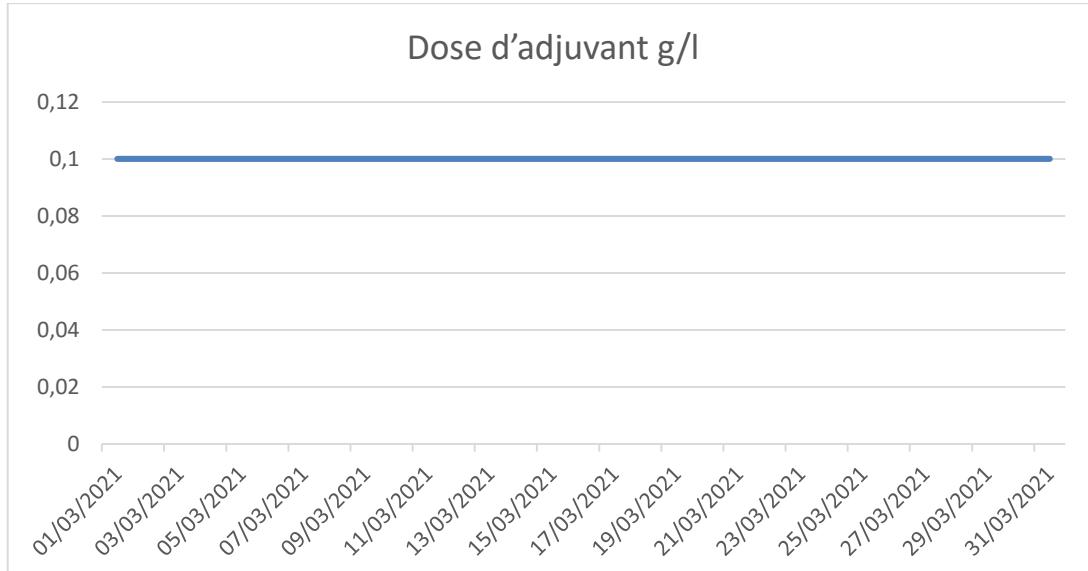
La procédure est la même pour déterminer la dose de l'adjuvant de flocculation.

Prendre 6 bêchers et ajouter la dose optimale précédemment déterminer durant la première phase du Jar test et ajouter des dose croissantes de l'adjuvant de coagulation pendant l'étape de l'agitation lente. Les doses d'adjuvant sont présentées dans le tableau IV. 3

**Tab.IV.3-les doses d'adjuvant**

Jour	Dose d'adjuvant g/l	Jour	Dose d'adjuvant g/l
01/03/2021	0,10	17/03/2021	0,10
02/03/2021	0,10	18/03/2021	0,10
03/03/2021	0,10	19/03/2021	0,10
04/03/2021	0,10	20/03/2021	0,10
05/03/2021	0,10	21/03/2021	0,10
06/03/2021	0,10	22/03/2021	0,10
07/03/2021	0,10	23/03/2021	0,10
08/03/2021	0,10	24/03/2021	0,10
09/03/2021	0,10	25/03/2021	0,10
10/03/2021	0,10	26/03/2021	0,10
11/03/2021	0,10	27/03/2021	0,10
12/03/2021	0,10	28/03/2021	0,10
13/03/2021	0,10	29/03/2021	0,10
14/03/2021	0,10	30/03/2021	0,10
15/03/2021	0,10	31/03/2021	0,10
16/03/2021	0,10		

La figure IV.9 représente les doses d'adjuvant :



**Fig.IV.3- les doses d'adjuvant**

## Interprétation

Les valeurs d'adjuvants sont constantes.

La dose optimale est celle ajoutée au béchers qui aura la turbidité et le pH le plus adéquat.

## IV.3- Demande en Chlore

### IV.3.1-Objectif

C'est la détermination de la dose de chlore qu'il est nécessaire d'introduire dans l'eau pour qu'il reste une trace de chlore après 2 heures de contact.

### IV.3.2-Principe

Détermination du chlore libre résiduel d'une série de flacons contenant l'eau à épurer ou on introduit des doses croissantes de chlore total, on constate après 2 heures de temps de contact que la dose de chlore total passe par un minimum.

### IV.3.3-Matériel nécessaire

- flacons en verre brun de 1000 ml avec bouchons.
- Une pipette de 10 ml graduée en dixièmes de millilitres.
- Une pipette de 30 ml graduée en dixièmes de millilitres.
- Une éprouvette de 250 ml.
- Comprimé de DPD N°1.
- Comparateur de chlore libre résiduel.

- **Solution mère en Chlore à 20 g/l**

- Prélever 30 ml de solution concentré d'Hypochlorite de Sodium et verser ce volume dans une éprouvette de 250ml, compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 200 ml.
- Agiter soigneusement pendant 4 à 5 minutes.

On obtient ainsi une solution mère à 20 g/l.

- **Solution en Chlore à 1.0 g/l**

- Prélever 10 ml de la solution mère et verser ce volume dans une éprouvette de 250ml, compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 200 ml.

- Agiter soigneusement pendant 4 à 5 minutes.

On obtient ainsi une solution à 1.0 g/l.

Cette solution doit être immédiatement utilisée.

### **Mode opératoire**

- Prendre une série de 10 flacons de 1000 ml, les remplir avec l'Eau Brute (EB).

- Prendre la solution d'Hypochlorite de Sodium 1.0 g/l et injecter avec une pipette de 10 ml :

0.5 ml dans le flacon n° 01 ----- » 0.5 mg/l

1.0 ml dans le flacon n° 02 ----- » 1.0 mg/l

1.5 ml dans le flacon n° 03 ----- » 1.5 mg/l

2.0 ml dans le flacon n° 04 ----- » 2.0 mg/l

2.5 ml dans le flacon n° 05 ----- » 2.5 mg/l

3.0 ml dans le flacon n° 06 ----- » 3.0 mg/l

3.5 ml dans le flacon n° 07 ----- » 3.5 mg/l

4.0 ml dans le flacon n° 08 ----- » 4.0 mg/l

4.5 ml dans le flacon n° 09 ----- » 4.5 mg/l

5.0 ml dans le flacon n° 10 ----- » 5.0 mg/l

- Laisser reposer 2 heures à l'abri de la lumière.

- Faire le taux de chlore de chaque flacon (Comparateur + Comprimés DPD n°01).

- Choisir la dose d'Hypochlorite de Sodium donnant un taux de chlore résiduelle= 0.2 mg/l.

**Remarque :** L'injection du chlore dans l'eau avec une pompe doseuse



**Fig.IV.4 Comparateur Lovibond**

#### **IV.4- Les paramètres physico-chimiques**

Dans le règlement de l'eau potable, seules les substances présentant un risque direct pour la santé ou donnant une mauvaise qualité esthétique sont contrôlées. Leurs concentrations doivent être comparées aux concentrations maximales acceptables.

##### **IV.4.1- La température**

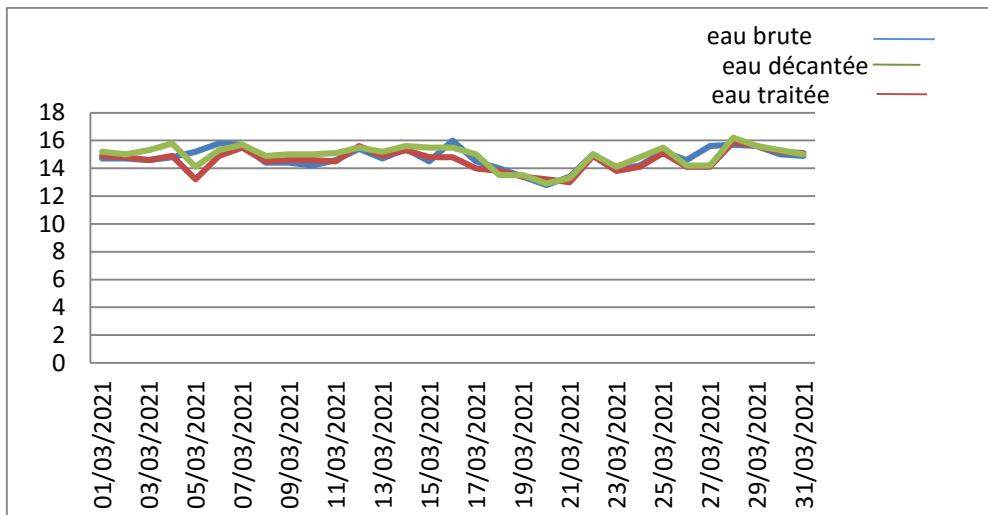
Une eau potable devait être rafraîchissante la température maximale admissible plus élevée peut être à l'origine de développement micro-organismes, peut accentuer le goût, la saveur et d'odeur comme elle est un facteur important dans la corrosion des canalisations.

Les résultats obtenus lors stage pratique au niveau de la station chaiba sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tab.IV.4** –température de l'eau

Jour	eau brute	eau décantée	eau traitée
01/03/2021	14,70	14,90	15,20
02/03/2021	14,70	14,80	15,00
03/03/2021	14,60	14,60	15,30
04/03/2021	14,80	14,90	15,80
05/03/2021	15,20	13,20	14,10
06/03/2021	15,80	14,90	15,30
07/03/2021	15,70	15,50	15,70
08/03/2021	14,40	14,50	14,90
09/03/2021	14,40	14,60	15,00
10/03/2021	14,20	14,60	15,00
11/03/2021	14,60	14,50	15,10
12/03/2021	15,40	15,60	15,50
13/03/2021	14,70	14,90	15,20
14/03/2021	15,40	15,30	15,60
15/03/2021	14,50	14,80	15,50
16/03/2021	16,00	14,80	15,50
17/03/2021	14,50	14,00	15,00
18/03/2021	14,00	13,80	13,50
19/03/2021	13,40	13,40	13,50
20/03/2021	12,80	13,20	12,90
21/03/2021	13,40	13,00	13,30
22/03/2021	15,00	14,90	15,00
23/03/2021	13,90	13,80	14,10
24/03/2021	14,20	14,10	14,80
25/03/2021	15,20	15,10	15,50
26/03/2021	14,60	14,10	14,20
27/03/2021	15,60	14,10	14,20
28/03/2021	15,70	15,90	16,20
29/03/2021	15,60	15,60	15,60
30/03/2021	15,00	15,20	15,30
31/03/2021	14,90	15,10	15,00

la figure ci-dessous représente l'évolution de la température :



**Fig.IV.5** - l'évolution de la température en fonction du temps

- **Interprétation**

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixé par OMS(1994) montrer dans le tableau IV.5 :

**Tab.IV.5** -norme de potabilité fixé par OMS (1994)

Température	Qualité d'eau
Entre 20 et 22	eau excellente
Entre 22 et 25	Eau passable
Entre 25 et 30	Eau médiocre

On remarque que les valeurs de températures mesurées pour l'eau brute varient entre 12.8 et 16°C ; et pour l'eau décantée varient entre 13 et 15.9°C ; et pour l'eau traitée entre 12.9 et 16.2°C.

Ces valeurs sont inférieures à 20°C, ceci pourrait signifier comparativement à ces normes , que l'eau est bonne .

#### IV.4.2- Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau traduit son acidité ou son alcalinité par sa concentration en anhydride carbonique liée à la minéralisation totale.

C'est un facteur déterminant de l'agressivité de l'eau vis- vis de la canalisation et de l'action du chlore lors de la désignation pour ces raisons, les normes préconisent un pH compris entre 6,5 et 8,5.

**Tab.IV.6- les domaines de pH**

pH<5	Acidité forte → présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles.
pH=7	pH naturelle
7<pH<8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

Les valeurs de pH mesurés pendant la période du stage sont regroupées dans le tableau IV.7 :

**Tab.IV.7 –pH de l'eau**

Jour	Eau brute	Eau décantée	Eau traitée
01/03/2021	7,73	7,54	7,55
02/03/2021	7,15	7,42	7,42
03/03/2021	7,80	7,76	7,60
04/03/2021	7,94	7,65	7,60
05/03/2021	7,93	7,65	7,70
06/03/2021	7,90	7,84	7,86
07/03/2021	7,89	7,44	7,55
08/03/2021	7,46	7,37	7,39
09/03/2021	7,44	7,35	7,37
10/03/2021	7,77	7,70	7,70
11/03/2021	7,80	7,74	7,76
12/03/2021	7,88	7,64	7,70
13/03/2021	7,73	7,54	7,55

14/03/2021	7,85	7,55	7,44
15/03/2021	7,98	7,65	7,92
16/03/2021	7,48	7,92	7,80
17/03/2021	7,80	7,72	7,79
18/03/2021	8,00	7,80	7,95
19/03/2021	8,09	7,80	7,65
20/03/2021	8,23	7,83	8,13
21/03/2021	7,84	7,75	7,76
25/03/2021	7,66	7,50	7,53
26/03/2021	7,66	7,55	7,60
27/03/2021	7,70	7,62	7,68
28/03/2021	7,77	7,64	7,71
29/03/2021	7,69	7,44	7,44
30/03/2021	7,89	7,66	7,2
31/03/2021	7,57	7,50	7,55

La figure ci-dessous représente l'évolution du pH en fonction du temps :



**Fig.IV.6**—l'évolution de pH en fonction du temps

- **Interprétation**

Les valeurs de pH de l'eau brute varient entre 7.13 et 8.23, et de l'eau décantée varie entre 7.35 et 7.92, et de l'eau traitée varie entre 7.2 et 8.13.

On comparant ces résultats obtenus lors des analyses de l'eau brute aux normes algériennes (pH entre 6.5-8.5) il ressort que le pH est normal dans les normes .Donc un pH voisin de la neutralité

#### **IV.4.3-La turbidité**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matière en suspension (MES) fines (argiles, limons, les grains de silice), une part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origines organiques ou minérales.

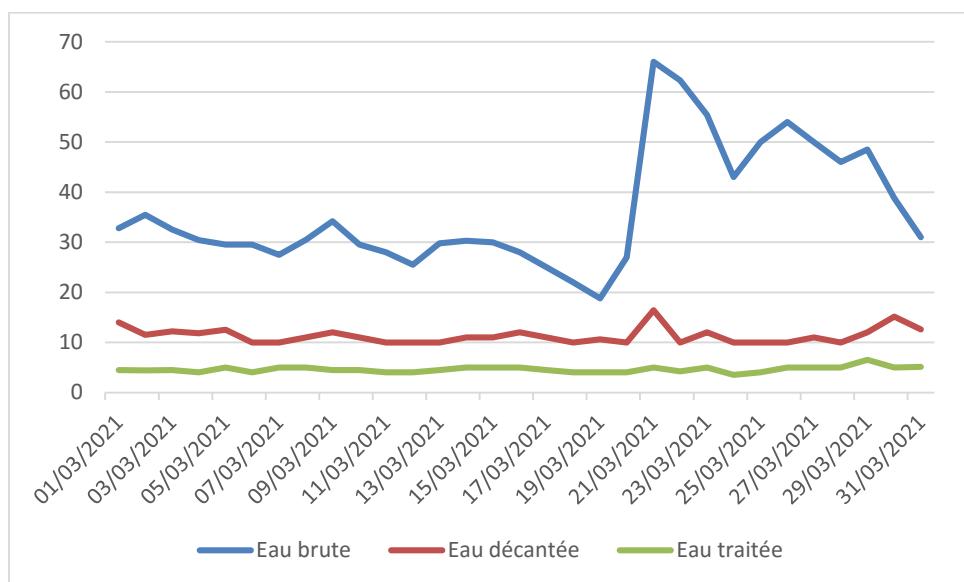
Les valeurs de turbidité mesurées pendant la période du stage sont regroupées dans le tableau IV.8 :

**Tab.IV.8- les résultats de turbidité**

Jour	Eau brute	Eau décantée	Eau traitée
01/03/2021	32,80	14,00	4,50
02/03/2021	35,50	11,50	4,40
03/03/2021	32,50	12,20	4,50
04/03/2021	30,40	11,80	4,00
05/03/2021	29,50	12,50	5,00
06/03/2021	29,50	10,00	4,00
07/03/2021	27,50	10,00	5,00
08/03/2021	30,50	11,00	5,00
09/03/2021	34,20	12,00	4,50
10/03/2021	29,50	11,00	4,50
11/03/2021	28,00	10,00	4,00
12/03/2021	25,50	10,00	4,00
13/03/2021	29,80	10,00	4,50
14/03/2021	30,30	11,00	5,00
15/03/2021	30,00	11,00	5,00
16/03/2021	28,00	12,00	5,00
17/03/2021	25,00	11,00	4,50
18/03/2021	22,00	10,00	4,00
19/03/2021	18,80	10,60	4,00

20/03/2021	27,00	10,00	4,00
21/03/2021	66,00	16,40	5,00
22/03/2021	62,30	10,00	4,25
23/03/2021	55,40	12,00	5,00
24/03/2021	43,00	10,00	3,50
25/03/2021	50,00	10,0	4,00
26/03/2021	54,00	10,00	5,00
27/03/2021	50,00	11,00	5,00
28/03/2021	46,00	10,00	5,00
29/03/2021	48,50	12,00	6,50
30/03/2021	38,80	15,12	5,00
31/03/2021	31,00	12,56	5,10

La figure ci-dessous représente l'évolution de la turbidité :



**Fig.IV.7**—l'évolution de la turbidité en fonction du temps

### • Interprétation

La classification des eaux selon la turbidité est montrée dans le tableau suivant :

Tab.IV.9- classification des eaux selon la turbidité

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble

NTU>50	Eau trouble
--------	-------------

Les valeurs de turbidité de l'eau brute varient entre 18.8 et 66 NTU et de l'eau décantée varie entre 10 et 16.5 NTU, et de l'eau traitée varie entre 3.5 et 6.5 NTU.

Les valeurs obtenues sont supérieures aux normes algériennes (turbidité > 50 NTU), donc l'eau est trouble.

**Remarque :**

La turbidité augmente dans les périodes pluvieuses et orageuses et diminue en période sèche

#### IV.4.4-La conductivité :

Elle exprime la capacité de conduction de courant électrique d'une eau. Elle est en fonction de la présence d'ions et elle augmente avec la température et la concentration des sels dissous. Elle consiste de ce fait un critère d'appréciation de la minéralisation globale d'une eau.

La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante :

Tab.IV.10-classification des eaux en fonction de conductivité

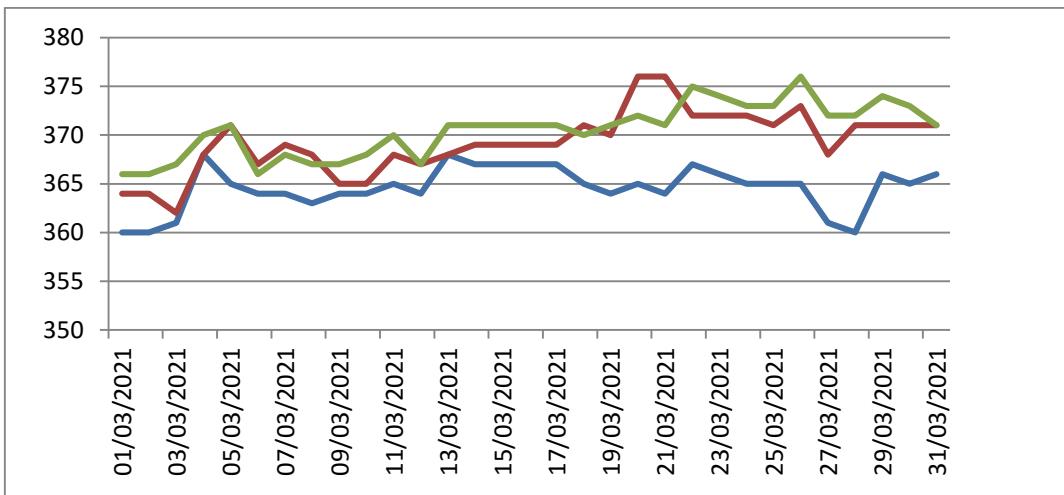
Conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Classification d'eau
10 à 80	Eau de pluie
80 à 100	Eau peu minéralisée
300 à 500	Moyennement minéralisée
1000 à 3000	Eau saline
>3000	Eau de mer

**Tab IV.11- les résultats de conductivité**

	Eau brute	Eau décantée	Eau traitée
01/03/2021	360	364	366
02/03/2021	360	364	366
03/03/2021	361	362	367
04/03/2021	368	368	370
05/03/2021	365	371	371
06/03/2021	364	367	366

07/03/2021	364	369	368
08/03/2021	363	368	367
09/03/2021	364	365	367
10/03/2021	364	365	368
11/03/2021	365	368	370
12/03/2021	364	367	367
13/03/2021	368	368	371
14/03/2021	367	369	371
15/03/2021	367	369	371
16/03/2021	367	369	371
17/03/2021	367	369	371
18/03/2021	365	371	370
19/03/2021	364	370	371
20/03/2021	365	376	372
21/03/2021	364	376	371
22/03/2021	367	372	375
23/03/2021	366	372	374
24/03/2021	365	372	373
25/03/2021	365	371	373
26/03/2021	365	373	376
27/03/2021	361	368	372
28/03/2021	360	371	372
29/03/2021	366	371	374
30/03/2021	365	371	373
31/03/2021	366	371	371

La figure ci-dessous représente l'évolution de conductivité :



**Fig. IV. 8-** l'évolution de conductivité en fonction du temps

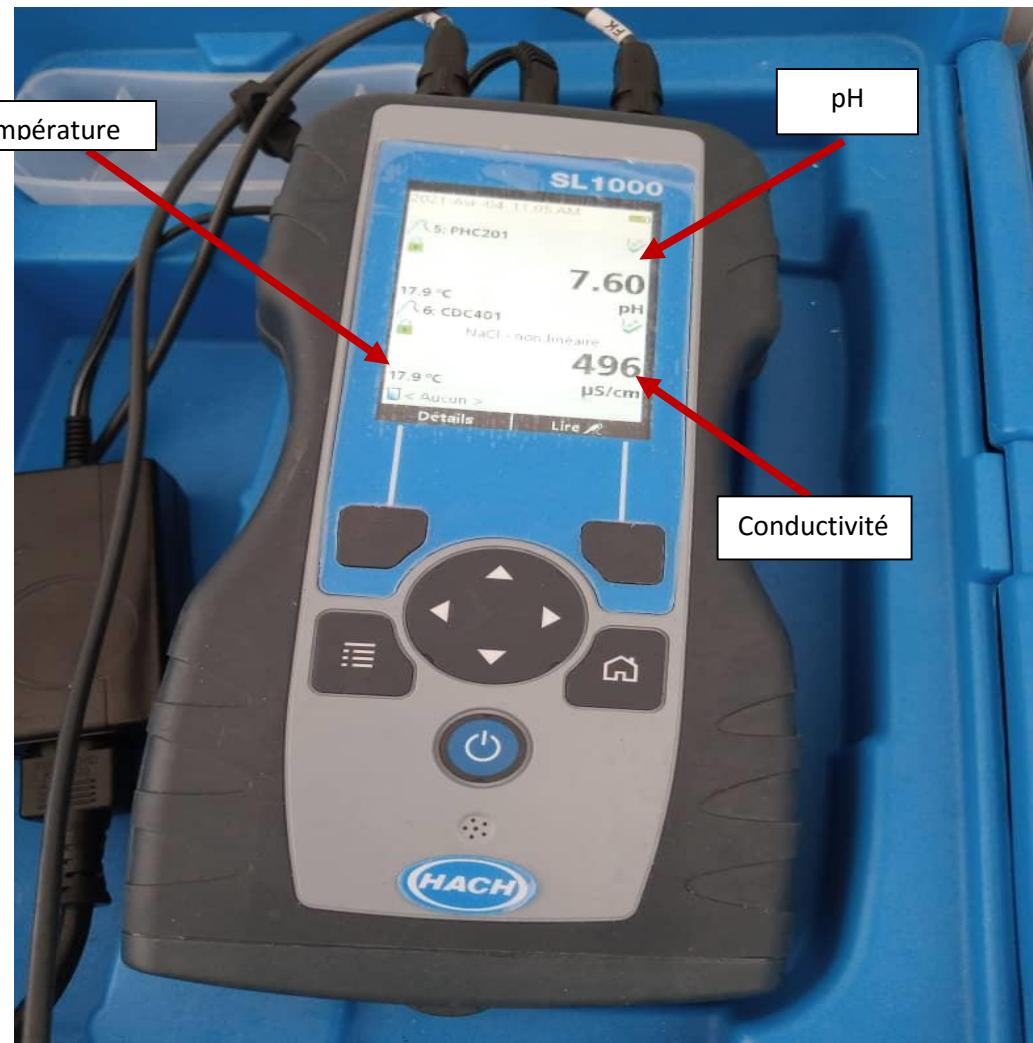
- **Interprétation**

Les valeurs de conductivité de l'eau brute sont comprises entre  $360$  et  $368 \mu\text{s}/\text{cm}$  et celles de l'eau décantée est comprises entre  $362$  et  $376 \mu\text{s}/\text{cm}$  et de l'eau traitée est comprises entre  $366$  et  $376 \mu\text{s}/\text{cm}$  .

Selon le classement (tab.IV.10) cette eau est : moyennement minéralisée.

### Remarque

La mesure du pH, conductivité et température a été effectuée in situ à l'aide d'une appareil multifonction à affichage numérique de marque HACH.



**Fig. .IV.9 - pH mètre multifonction**

#### IV.4.5-Le chlore résiduel :

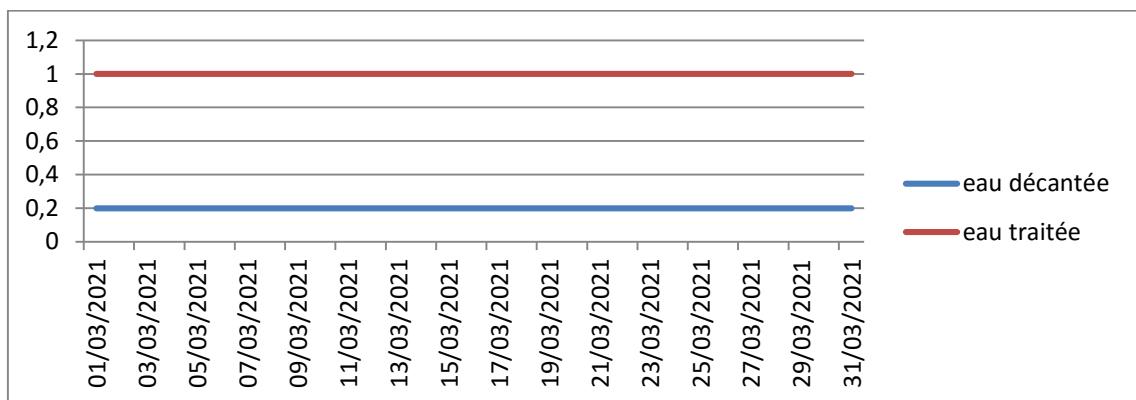
Les valeurs de chlore résiduel des eaux sont regroupées dans le tableau Tab .IV .12 :

**Tab .IV .12- les résultats du chlore résiduel**

Jour	eau décantée g/l	eau traitée g/l	Jour	eau décantée g/l	eau traitée g/l
01/03/2021	0,20	1,00	17/03/2021	0,20	1,00
02/03/2021	0,20	1,00	18/03/2021	0,20	1,00
03/03/2021	0,20	1,00	19/03/2021	0,20	1,00
04/03/2021	0,20	1,00	20/03/2021	0,20	1,00
05/03/2021	0,20	1,00	21/03/2021	0,20	1,00
06/03/2021	0,20	1,00	22/03/2021	0,20	1,00

07/03/2021	0,20	1,00	23/03/2021	0,20	1,00
08/03/2021	0,20	1,00	24/03/2021	0,20	1,00
09/03/2021	0,20	1,00	25/03/2021	0,20	1,00
10/03/2021	0,20	1,00	26/03/2021	0,20	1,00
11/03/2021	0,20	1,00	27/03/2021	0,20	1,00
12/03/2021	0,20	1,00	28/03/2021	0,20	1,00
13/03/2021	0,20	1,00	29/03/2021	0,20	1,00
14/03/2021	0,20	1,00	30/03/2021	0,20	1,00
15/03/2021	0,20	1,00	31/03/2021	0,20	1,00
16/03/2021	0,20	1,00			

La figure ci-dessous représente le graphe de chlore résiduel en fonction du temps :



**Fig.IV.10**—chlore en fonction du temps

### • Interprétation

Les valeurs de chlore résiduel pour l'eau décantée et l'eau traitée sont constantes pendant le mois de mars 2021

La mesure de chlore est effectuée par méthode colorimétrique dépend de l'observation de la couleur de l'eau mélangé avec comprime de DPD N°1 et faire la comparaison avec les couleurs de l'appareil utilisé (Comparateur lovibond)

### - Conclusion

Notre travail a été effectué sur les différentes étapes de traitement de l'eau potable au siège de la station de traitement du Centre de production Chaiba.

Les doses des produits chimiques utilisés pour le traitement sont bien déterminées au niveau de laboratoire par les méthodes suivant : Jar Test pour les doses de sulfate d'alumine et adjuvant,

demande en chlore pour les doses d'hypochlorite de sodium .ces doses sont en relation avec l'augmentation ou la diminution de la turbidité

## **Conclusion générale**

L'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur l'évaluation de la qualité de l'eau de la station de chaiba, il ressort que la quasi-totalité des paramètres analysés sont conformes aussi bien à la règlementation nationale et internationale en matière de potabilité.

En effet, les résultats obtenus ont montré que le pH est correct, la température est acceptable et la teneur en chlore résiduel est constante.

Pour conclure, l'eau de la station chaiba peut être considérée comme bonne à consommer si bien sûr les opérations de désinfection sont bien effectuées.

Il serait souhaitable de mener régulièrement ce type d'étude basé sur l'évaluation des paramètres physicochimiques pour contrôler la qualité de l'eau mais tout en les consolidant avec les analyses bactériologiques et contrôler surtout les différentes étapes de traitement de l'eau régulièrement.

## Références Bibliographiques

---

- [1] *DEGREMONT*. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, 1989, P : 5, 24,25.
- [2] *Raymond Desjardins*, Le traitement de l'eau, 2<sup>e</sup> édition, 1997
- [3] *BOEGLIN Jean-claude*. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement
- [4] *EPA (Environmental Protection Agency- US)* "Protecting Water Quality from Agricultural Runoff." Fact Sheet No. EPA-841-F-05-001. March 2005.
- [5] *Harrison, Roy M.*, ed. (2001). Pollution: Causes, Effects and Control (4th ed.). Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- [6] *EPA (Environmental Protection Agency- US)* "Report to Congress: Impacts and Control of CSOs and SSOs." August 2004. Document No. EPA-833-R-04-001.
- [7] *Laws, Edward A.* Aquatic Pollution: An Introductory Text (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN 9781119304500, 2008
- [8] *Goel, P.K.* Water Pollution - Causes, Effects and Control. New Delhi: New Age International. p. 179, 2008
- [9] *Kennish, Michael J*, Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects. Marine Science Series. Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 415–17. ISBN 978-0-8493-8041-9., 2008
- [10] *Jiang, Jia-Qian* "The role of coagulation in water treatment". Current Opinion in Chemical Engineering. Nanotechnology • Separation engineering. 8: 36–44. (2015-05-01).
- [11] *Sohrabi Y, Shokohizadeh M.J, Tabar F.R, Mirzaei N, Bagheri A, Ghadiri S.K, ... & Charganeh S.S* (2018) Surveying the utilization of aluminum chloride in water treatment. Advanced Scientific Research
- [12] *Mr.Noel Bourke, Mr.Gerry Carty, Mr. Gerard O'Leary, Dr. Matt Crowe and Mr.Darragh Page*, Water treatment manuals, coagulation, flocculation & clarification, Environmental protection agency,Ireland,2002
- [13] *Mackenzie L.Davis*, Water and wastewater engineering, Design principles and practice, 2002
- [14][15] *Gregoria A. Sincero, Arcadio P. Sincero*, Physical-chemical treatment of water and wastewater, 2002
- [16] *Chris Binie, Martin Kimber, George Smethurst*, Basic Water Treatment, Royal Society of Chemistry, Mar 15, 2002

- [17] *K.B.Misra*, Clean production: Environmental and economic perspectives, 1996
- [18] Water Treatment – 3<sup>rd</sup> Edition, Denver, Co: American Water Works Association, 2003.
- [19] *B.Sizirici Yildiz*, Water and wastewater treatment: Biological process. In metropolitan sustainability
- [20] *Environmental protection Agency*, Water treatment manual : Disinfection, Ireland, 2011
- [21] *Rodríguez, A. & Rosal, Roberto & Perdigón-Melón, Jose & Mezcua, M. & Agüera, Ana & Hernando, M. & Letón, Pedro & Fernández-Alba, Amadeo & García-Calvo, Eloy*. (2008). Ozone-Based Technologies in Water and Wastewater Treatment. 10.1007/698\_5\_103.
- [22] [www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/oxydation-desinfection/oxydation-et-desinfection-par-l-ozone](http://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/oxydation-desinfection/oxydation-et-desinfection-par-l-ozone) consulté le 01/07/2021
- [23]-Desjardins.R; Le traitement des eaux; deuxième édition : Presses internationales polytechnique; janvier 1990; Montréal